

TUGAS AKHIR 141584

ANALISIS PENGARUH VARIASI *TEMPERATURE*
TEMPERING DAN WAKTU TAHAN *TEMPERING*
PADA PROSES *TEMPERING* MATERIAL AISI
8655 YANG TELAH MENGALAMI HARDENING
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO *HAMMER CRUSHER*

SIPARTOGI SILALAH
NRP. 02511440000134

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR 141584

ANALISIS PENGARUH VARIASI *TEMPERATURE TEMPERING* DAN WAKTU TAHAN *TEMPERING* PADA PROSES *TEMPERING* MATERIAL AISI 8655 YANG TELAH MENGALAMI HARDENING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO *HAMMER CRUSHER*

SIPARTOGI SILALAH
NRP. 02511440000134

Dosen Pembimbing:
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT 141584

**ANALYSIS THE EFFECT OF
TEMPERATURE TEMPERING AND
HOLDING TIME TEMPERING VARIATION IN
TEMPERING PROCESS AISI 8655 WHICH
HAS EXPERIENCE HARDENING ON
MECHANICAL PROPERTIES AND
MICROSTRUCTURE OF HAMMER CRUSHER**

SIPARTOGI SILALAH
NRP. 02511440000134

Advisor:

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATURE
TEMPERING DAN WAKTU TAHAN TEMPERING PADA
PROSES TEMPERING MATERIAL AISI 8655 YANG
TELAH MENGALAMI HARDENING TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO HAMMER
CRUSHER**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Korosi dan Analisis Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SIPARTOGI SILALAH

02511440000134

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc..... (Pembimbing 1)
2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T..... (Pembimbing 2)



**ANALISIS PENGARUH VARIASI *TEMPERATURE*
TEMPERING DAN WAKTU TAHAN *TEMPERING* PADA
PROSES *TEMPERING* MATERIAL AISI 8655 YANG
TELAH MENGALAMI HARDENING TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO *HAMMER*
*CRUSHER***

Nama : Sipartogi Silalahi
NRP : 02511440000134
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

ABSTRAK

Hammer crusher merupakan alat untuk menghancurkan terak yang telah diproses dalam *clinker* dan telah didinginkan pada *clinker cooler*. Saat dilakukan pengujian komposisi, *hammer crusher* tidak sesuai dengan standard ASTM A532. Sehingga *hammer crusher* mengalami keausan yang sangat cepat dan tidak mencapai umur pakai yang seharusnya. Dalam penelitian sebelumnya dilakukan analisa penyebab terjadinya kegagalan pada *hammer crusher* dan perlakuan yang tepat sebagai solusi kegagalan. Dilakukan proses *hardening* pada temperatur 850 C dengan waktu tahan 30 dan 60 menit, yang kemudian di *quench* dengan media pendingin udara, oli dan air untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan ausnya. Diperoleh kekerasan yang paling baik pada proses *hardening* 60 menit dengan menggunakan media pendingin air yaitu sebesar 580 HV. Namun dengan nilai impak yang kecil, yaitu 28 joule atau berada pada batas bawah *white cast iron*. Sehingga dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan *tempering* pada temperatur 150 C, 200 C dan 250 C dengan waktu tahan *tempering* 60 dan 90 menit. Setelah itu dilakukan pengujian metalografi, pengujian kekerasan dan pengujian impak. Kemudian dibandingkan material sebelum dan sesudah *tempering*. Dalam hasil percobaan diperoleh bahwa kekerasan menurun dari 580 HV

menjadi 530 – 565 HV. Dan energi impak meningkat dari 2,8 Joule menjadi 3 – 4,5 Joule. Serta solusi terbaik dengan kekerasan dan energi impak yang paling optimal terhadap standard adalah perlakuan dengan temperatur tempering 250 C dan waktu tahan tempering 90 menit.

Kata kunci : Hammer crusher, AISI 8655, hardening, tempering, hardness, impact

**ANALYSIS THE EFFECT OF TEMPERATURE
TEMPERING AND HOLDING TIME TEMPERING
VARIATION IN TEMPERING PROCESS AISI 8655
WHICH HAS EXPERIENCE HARDENING ON
MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE
OF HAMMER CRUSHER**

Name : Sipartogi Silalahi
NRP : 02511440000134
Major : Teknik Material dan Metalurgi
Advdsor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

ABSTRACT

Hammer crusher is a tool for crushing slag. Slag has been processed in clinker and has cooled on clinker cooler. When testing the composition, hammer crusher does not conform to the ASTM A532 standard. So Hammer crusher has a very fast wear and does not match with the proper lifetime. In the previous research on analysis the cause of failure in hammer crusher and heat treatment process as the failure's solution. Conducted hardening process at 850 C temperature with 30 and 60 minutes duration, which then in quench with cooling air, oil and water media to increase hardness and wear resistance. The best hardness was obtained on hardening process 60 minutes by using water cooling media that is equal to 548 BHN. But with a small impact value, which is 28 joules or is at the lower limit of white cast iron. So, It is needed further research by doing tempering at temperature 150 C, 200 C and 250 C with 60 and 90 minute tempering time. Then some testing method include; Metallographic testing, hardness testing and impact testing. Then compared the material before and after tempering. In the experimental results obtained that the hardness decreased from 580 HV to 530 - 565 HV. And the impact energy increased from 2,8 Joule to 3 – 4,5 Joule. And the best solution with hardness and

the optimum impact energy to the standard is the treatment with tempering temperature 250 C and 90 minute tempering time.

.

Keywords: Hammer crusher, AISI 8655, hardening, tempering, hardness, impact

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis pengaruh variasi temperatur *tempering* dan waktu tahan *tempering* pada proses *tempering* material AISI 8655 yang telah mengalami *hardening* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro *hammer crusher*”. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
2. Ir. Rochman Rochiem. , M.Sc. dan Alvian toto Wibisono, ST, ., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Dr. Agung Purniawan, ST. , M,Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI- ITS.

5. Rindang Fajarin S.Si., M.Si selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi.
8. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman- teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 25 Juni 2018
Penulis,

Sipartogi S
02511440000134

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Clinker cooler	5
2.2 Hammer Crusher	6
2.3 Material <i>Hammer Crusher</i> (ASTM A532)	7
2.4 Material Hammer Crusher yang mengalami kegagalan	10
2.5 Diagram Fe-Fe ₃ C	12
2.6 Baja Paduan	14
2.7 Hardening	16
2.8 Tempering	17
2.9 Fase hasil transformasi	23
2.10 Pengujian Kekerasan	26
2.11 Pengujian Impak	27
2.12 Penelitian sebelumnya	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram alir penelitian	33
3.2 Metode Penelitian	35
3.3 Material yang digunakan	35

3.4 Peralatan	36
3.5 Tahapan Penelitian	40
3.6 Rancangan Penelitian	40

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBEHASAN

4.1 Analisa data	
4.1.1 Perlakuan panas	43
4.1.2 Hasil Pengujian Metalografi	44
4.1.3 Hasil Pengujian Kekerasan	46
4.1.4 Hasil Pengujian Impak	48
4.1.5 Hasil Pengujian Abrasif	51
4.2 Pembahasan	53

BAB V Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57

DAFTAR PUSTAKA	xii
-----------------------------	-----

LAMPIRAN	xv
-----------------------	----

UCAPAN TERIMA KASIH	xxii
----------------------------------	------

BIODATA PENULIS	xxiv
------------------------------	------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen utama <i>clinker cooler</i>	5
Gambar 2.2	Hammer Crusher	7
Gambar 2.3	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	13
Gambar 2.4	Plot Struktur mikro Baja hypoeutectoid	14
Gambar 2.5	Mekanisme Hardening	17
Gambar 2.6	Kurva temper Baja H13	18
Gambar 2.7	Hubungan Parameter temper	19
Gambar 2.8	Master curve penemperan baja.....	20
Gambar 2.9	Kenaikan kekerasan akibat kadar karbon	22
Gambar 2.10	Pengaruh unsur paduan terhadap kekerasan ..	22
Gambar 2.11	Mekanisme perlakuan panas	23
Gambar 2.12	Struktur mikro martensit	24
Gambar 2.13	Struktur mikro martensit temper	25
Gambar 2.14	Struktur mikro bainit	25
Gambar 2.15	Pembebanan metode Charpy dan izod.....	27
Gambar 2.16	Kekerasan setelah proses <i>hardening</i>	29
Gambar 2.17	Energi Impak setelah proses <i>hardening</i>	29
Gambar 2.18	Kekerasan setelah proses <i>tempering</i>	31
Gambar 2.19	Laju Keausan setelah proses <i>tempering</i>	31
Gambar 2.20	Pengaruh tempering terhadap kekerasan	32
Gambar 2.21	Pengaruh tempering terhadap energi impak...	32
Gambar 3.1	Diagram Alir penelitian	33
Gambar 3.2	Komponen <i>Hammer Crusher</i>	36
Gambar 3.3	Mesin OES.....	37
Gambar 3.4	Alat uji kekerasan.....	37
Gambar 3.5	Alat Uji Impak	38
Gambar 3.6	Mikroskop Optik	38
Gambar 3.7	Alat uji ketahanan aus.....	39
Gambar 3.8	Dielectric furnace	39
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Metalografi hardening	45
Gambar 4.2	Hasil Penujian metalografi	

	Hardened-tempering	45
Gambar 4.3	Pembagian daerah indentasi uji kekerasan.....	46
Gambar 4.4	Grafik Nilai Kekerasan.....	47
Gambar 4.5	Pola Patahan Uji Impak	49
Gambar 4.6	Grafik pengujian impak	50
Gambar 4.7	Grafik Laju keausan	52

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Clinker cooler	5
2.2 Hammer Crusher	6
2.3 Material <i>Hammer Crusher</i> (ASTM A532)	7
2.4 Material Hammer Crusher yang mengalami kegagalan	10
2.5 Diagram Fe-Fe ₃ C	12
2.6 Baja Paduan	14
2.7 Hardening	16
2.8 Tempering	17
2.9 Fase hasil transformasi	23
2.10 Pengujian Kekerasan	26
2.11 Pengujian Impak	27
2.12 Penelitian sebelumnya	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram alir penelitian	33
3.2 Metode Penelitian	35
3.3 Material yang digunakan	35

3.4 Peralatan	36
3.5 Tahapan Penelitian	40
3.6 Rancangan Penelitian	40

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBEHASAN

4.1 Analisa data	
4.1.1 Perlakuan panas	43
4.1.2 Hasil Pengujian Metalografi	44
4.1.3 Hasil Pengujian Kekerasan	46
4.1.4 Hasil Pengujian Impak	48
4.1.5 Hasil Pengujian Abrasif	51
4.2 Pembahasan	53

BAB V Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57

DAFTAR PUSTAKA	xii
-----------------------------	-----

LAMPIRAN	xv
-----------------------	----

UCAPAN TERIMA KASIH	xxii
----------------------------------	------

BIODATA PENULIS	xxiv
------------------------------	------

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai produsen semen terbesar di Indonesia dan di Asia tenggara, PT. Semen Indonesia memiliki kapasitas terpasang sebesar 30 ton/tahun dan menguasai sebesar 42% pangsa pasar domestik. Semen Indonesia memiliki 4 anak perusahaan yaitu PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa dan Thang Long Cement. Untuk PT. Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec. Kerek, Tuban, Jawa Timur.

Secara umum, proses pembuatan semen di PT. Semen Indonesia dimulai dari pengambilan bahan baku, proses pembuatan terak (*clinker*), proses penggilingan semen (*milling*), penyimpanan dalam *silo*, dan pengemasan semen (*packing*). Proses pembuatan terak (*clinker*) terdiri dari pemanasan awal, pengeringan dalam *rotary kiln*, dan pendinginan (*Cooling*). (Ibrahim, 2004). Pada unit Tuban I dan II, terdapat proses pembuatan terak/*clinker*. Pada proses pembuatan terak(*clinker*) terdapat suatu proses pendinginan *clinker* oleh *Clinker Cooler*.

Clinker cooler berfungsi sebagai pendingin material yang keluar dari *kiln (clinker)* sehingga fungsinya sangat penting untuk kelangsungan produksi terak (*clinker*) di Pabrik Tuban Semen Indonesia. *Clinker cooler* akan mendinginkan terak (*clinker*) yang diproduksi oleh *kiln* sebelum terak diproses lagi sebagai bahan baku pembuat semen. kemudian ukuran terak tersebut akan diperkecil dengan *hammer crusher* yang ada di dalam *clinker cooler*.

Kinerja optimal dari *clinker cooler* sangat diperlukan karena apabila dalam operasinya *clinker cooler* ini mengalami gangguan sedikit saja, maka *kiln* harus *stop* atau dapat mengganggu operasi lainnya seperti mengganggu operasi pada daerah *finish mill*. *Clinker cooler* membawa *clinker* dari *kiln* menuju *silo* secara



kontinyu, proses ini sejalan dengan produksi terak pada *kiln*, bila *clinker cooler* mati, produksi terak pada *kiln* memiliki kemungkinan untuk dihentikan karena temperatur dari terak yang dihasilkan sangat tinggi, hal ini berpotensi untuk merusak peralatan yang ada pada proses selanjutnya. *Clinker cooler* ini baru beroperasi selama kurang lebih setahun dan merupakan hasil modifikasi dari *cooler* generasi sebelumnya. Pada tanggal 21 Juli 2016 *hammer crusher* pada *clinker cooler* mengalami keausan (*wear*) yang tidak wajar. Kerusakan *hammer crusher* mengakibatkan *clinker cooler* mengalami penurunan distribusi terak dan proses produksi semen mengalami penurunan hingga *hammer crusher* tersebut diganti dengan *part* yang baru. *Hammer crusher* pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk mengalami keausan yang seharusnya umur pakainya selama 2 tahun hanya bertahan selama 8 bulan. Dari kasus tersebut dilakukan analisis kegagalan dengan menguji komposisi dan kekerasan material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Diperoleh komposisi yang tidak sesuai dengan material *hammer crusher* yang standar dan kekerasan yang rendah serta jauh dari standar. Disamping itu, *hammer crusher* baru harus diganti secara keseluruhan. Sehingga membutuhkan biaya yang tidak sedikit sekaligus sangat menghambat proses produksi PT. Semen Indonesia.

Oleh karena itu telah dilakukan penelitian untuk menganalisis kegagalan yang terjadi dan meminimalisir terjadinya keausan pada material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen. Pada tahun 2017 telah dilakukan penelitian untuk menganalisis kegagalan yang terjadi dan meminimalisir terjadinya keausan pada material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk dengan melakukan proses pengerasan (*hardening*) dan *quenching* dengan media pendingin yang berbeda beda. Ditemukan bahwa pada *hardening* 850 C dengan waktu tahan 60 menit dan media pendingin air sebagai hasil pengujian dengan kekerasan tertinggi, yaitu mencapai 548 BHN, namun dengan nilai



energi impak sebesar 2,8 Joule. Dimana sesuai standard *white cast iron* energi impak minimal adalah 2,8. Sehingga dengan demikian material akan sangat rentan dengan kegagalan impak. Selain itu percobaan sebelumnya terbatas pada variasi waktu tahan dan media pendingin. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan penelitian sebelumnya, yaitu dengan melanjutkan proses dengan variasi temperatur tempering dan waktu tahan tempering.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur tempering terhadap proses *tempering* material AISI 8655 yang telah mengalami *hardening* pada komponen *hammer crusher*?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu tahan tempering terhadap proses *tempering* material AISI 8655 yang telah mengalami *hardening* pada komponen *hammer crusher*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Data operasi seperti temperatur, kecepatan rotasi (rpm) pada *hammer crusher* sudah memenuhi standar operasional.
2. Desain *hammer crusher* memenuhi standar operasional.
3. Pengaruh lingkungan diabaikan.
4. Material dianggap homogen di semua sisi
5. Diasumsikan tidak ada penurunan temperatur saat material uji keluar dari dapur pemanas.
6. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.
7. Diasumsikan percobaan yang sama memberikan hasil yang sama dengan penelitian sebelumnya



1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh variasi temperatur *tempering* terhadap proses *tempering* material AISI 8655 yang telah mengalami *hardening* pada komponen *hammer crusher*?
2. Menganalisa pengaruh variasi waktu tahan *tempering* terhadap proses *tempering* material AISI 8655 yang telah mengalami *hardening* pada komponen *hammer crusher*?

1.5 Manfaat Penelitian

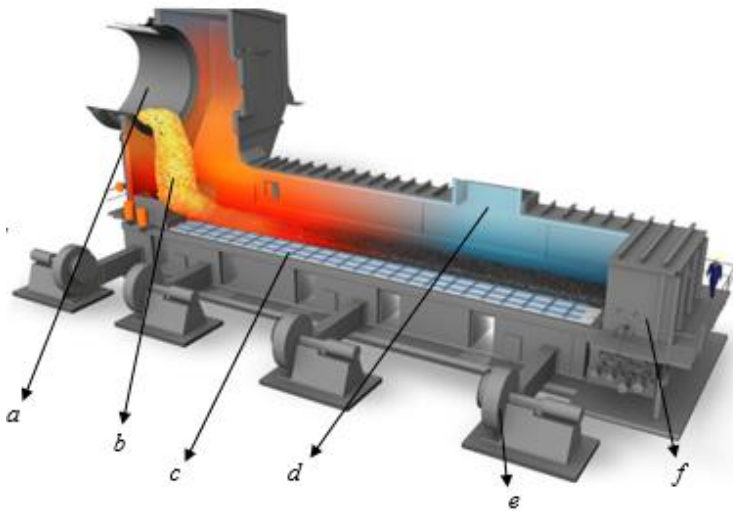
Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi penanganan bila terjadi kegagalan pada *hammer crusher* dikemudian hari dan dasar pengembangan pada penelitian-penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Clinker Cooler*

Clinker cooler merupakan bagian dari clink system yang terletak di ujung discharge rotary clean. Berfungsi untuk mendinginkan *clink* yang keluar dari *rotary clink* dari temperatur 1450 C menjadi 100 – 250 C yang selanjutnya akan dihancurkan oleh *hammer crusher*.



Gambar 2. 1 Komponen utama *clinker cooler* (FLSmidt, 2016)

Proses pendinginan dimulai ketika (a) *rotary kiln* dilewati oleh terak (b) kemudian dibawa oleh (c) *crossbar* menuju (f) *hammer crusher*. Di dalam *chamber-chamber*, terdapat (e) *fan* yang berada di bawah *crossbar* untuk mendinginkan clinker dengan cara meniupkan angin. Disamping itu, udara panas di dalam *clinker cooler* keluar melalui (d) *exhaust duct*, kemudian



terak (*clinker*) di hancurkan oleh *hammer crusher* menjadi ukuran yang lebih kecil.

Pada *clinker cooler*, angin yang berasal dari *fan* dihembuskan melalui celah – celah landasan (*crossbar*) yang bergerak mengantarkan *clinker* dari *rotary kiln* menuju ke *hammer*. Untuk mendinginkan *clinker*, digunakan pula alat bernama *grate cooler*. Pada *grate cooler* proses pendinginan terak (*clinker*) dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah *fan*, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah landasan (*grate*) yang bergerak mengantarkan terak (*clinker*) menuju ke *crusher* untuk proses selanjutnya. (Anwar, 2011).

Luas permukaan efektif dari *clinker cooler* adalah 160.6 m² dan berkapasitas 7800 ton / hari. Terdapat 3 *section* pada *clinker cooler* yaitu *inlet*, *existing*, dan *extended*. (Firdaus, 2007). Proses pendinginan terak (*clinker*) di dalam *clinker cooler* merupakan salah satu proses yang cukup penting dalam industri semen. Hal ini disebabkan karena proses pendinginan terak. (*clinker*) setelah melewati pemanasan di dalam *rotary kiln*, merupakan salah satu faktor dalam upaya menghasilkan *clinker* dengan kualitas yang diharapkan. (Anwar, 2011)

2.2 Hammer crusher

Hammer crusher adalah sebuah alat yang digunakan untuk memecah suatu material seperti batu ataupun *clinker*. *Hammer crusher* berbentuk seperti penggiling yang mempunyai *rotor* yang dapat berputar dan mempunyai alat pemecah berupa sebuah palu. Palu tersebut dipasang tergantung pada alat *hammer crusher*. Satu *hammer crusher* memiliki 3 set palu, dimana setiap set memiliki 7 palu yang berukuran sama besar. Gambar 2.2 menunjukkan komponen *hammer crusher*, (a) *rotor* yang berfungsi menggerakkan (b) *hammer crusher* dan (c) *hammer dies* yang berfungsi sebagai pemisah antara *hammer* satu dengan yang lainnya.

Cara kerja dari *hammer crusher* yaitu, *hammer crusher* bergerak pada kecepatan tertentu kemudian menghancurkan



clinker yang di tranportasikan oleh *crossbar* dari *rotary kiln*. Saat *clinker* dihancurkan, akan terjadi kontak antara ujung dari *hammer crusher* dengan *clinker*. Kontak yang terjadi terus menerus antara palu *hammer crusher* dan *clinker* dapat membuat material *hammer crusher* mengalami keausan. Pemeriksaan dan perawatan *hammer*/palu penting dan sangat dibutuhkan, karena berhubungan dengan mengubah palu yang dapat mempercepat tingkat putaran serta bergantung pada keras lunaknya obyek yang akan di giling. (Edahwati, 2009).



Gambar 2. 2 *Hammer crusher* (FLSmidth, 2016)

2.3 Material *Hammer crusher* (ASTM A532)

Material *hammer crusher* yang seharusnya dan sesuai dengan standar yang ada yaitu besi tuang putih (*white cast iron*) yang sesuai dengan ASTM A532. Besi cor putih cocok sebagai aplikasi *grinding*, *milling*, *earth-handling*, dan *manufacturing industries*. Spesifikasi fasa yang terbentuk pada besi cor putih antara lain perlit, ledeburit dan sementit. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia besi cor putih pada ASTM A532 antara lain sebagai beriku



Tabel 2. 1 Komposisi Kimia pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

Class	Type	Designation	C	Mn	Si	N	Cr	Mo	Cu	P	S
I	A	Ni-Cr-Hc	2.8-3.6	2.0 Max	0.8 Max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 Max	....	0.3 Max	0.15 Max
I	B	Ni-Cr-Lc	2.4-3.0	2.0 Max	0.8 Max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 Max	....	0.3 Max	0.15 Max
I	C	Ni-Cr-GB	2.5-3.7	2.0 Max	0.8 Max	4.0 Max	1.0-2.5	1.0 Max	....	0.3 Max	0.15 Max
I	D	Ni-HiCr	2.5-3.6	2.0 Max	2.0 Max	4.5-5.7	7.0-11.0	1.5 Max	....	0.10 Max	0.15 Max
II	A	12% Cr	2.0-3.3	2.0 Max	1.5 Max	2.5 Max	11.0-14.0	3.0 Max	1.2 Max	0.10 Max	0.06 Max
II	B	15% CrMo	2.0-3.3	2.0 Max	1.5 Max	2.5 Max	14.0-18.0	3.0 Max	1.2 Max	0.10 Max	0.06 Max
II	D	20% CrMo	2.0-3.3	2.0 Max	1.0-2.2	2.5 Max	18.0-23.0	3.0 Max	1.2 Max	0.10 Max	0.06 Max
III	A	25% Cr	2.0-3.3	2.0 Max	1.5 Max	2.5 Max	23.0-30.0	3.0 Max	1.2 Max	0.10 Max	0.06 Max

Sifat mekanik dari ASTM A532 juga bermacam-macam, salah satunya adalah kekerasan pada tiap kelas dan tipe dari material yang berbeda – beda. Tabel 2.2 menunjukkan macam-macam nilai kekerasan pada ASTM A532. (ASTM A532, 1999)

Tabel 2. 2 Kekerasan pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

Class	Type	Designation	As Cast and stress relieved		
			HB	HRC	HV
I	A	Ni-Cr-Hc	550	53	600
I	B	Ni-Cr-Lc	550	53	600
I	C	Ni-Cr-GB	550	53	600
I	D	Ni-HiCr	500	50	540
II	A	12% Cr	550	53	600
II	B	15% CrMo	450	46	485
II	D	20% CrMo	450	46	485
III	A	25% Cr	450	46	485



Berikut ini adalah spesifikasi dari *white cast iron* ditampilkan pada tabel 2.3. menunjukkan komposisi dari *white cast iron* sehingga dapat ditentukan *grade* dari material

Tabel 2.3 Komposisi *White Cast Iron* (Rohrig, 2016)

Grade	Chemical composition							
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
White Cast 1	3.0-3.6	0.3-0.5	0.3-0.7	Max 0.15	Max 0.30	3.3-4.8	1.5-2.6	0-0.4
White Cast 2	Max 2.9	0.3-0.5	0.3-0.7	Max 0.15	Max 0.30	3.5-5.0	1.4-2.4	0-0.4
White Cast 4	2.6-3.2	1.0-2.0	0.4	Max 0.1	Max 0.01	4.5-6.5	8.0-9.0	0-0.4

Sifat mekanik dari beberapa tipe *white cast iron* yang meliputi nilai dari kekerasan, *tensile strength*, modulus elastisitas dan energi impak terdapat dalam tabel 2.4

Tabel 2.4 Sifat Mekanik *White Cast Iron* (Rohrig, 1996)

Type	Hardness			Tensile strength	Modulus of elasticity (Mpa)	Impact energy (J)
	Brinnel	Vickers	Rockwel			
White Cast 1						
Sand Cast	550 - 690	640 – 750	56 - 63	500 - 620	169-183	28 – 41
Chill cast	600 - 730	700 – 860	58 – 65	560 - 850	169-183	35 – 55
White Cast 2						
Sand Cast	530 – 630	630 – 740	54 – 60	560– 680	169-183	35 – 48
Chill Cast	580 – 680	680 – 800	57 – 62	680– 870	169-183	48 – 76
White Cast 4	550 - 700	650 – 820	56 – 63	60 – 800	190-200	



2.4 Material *Hammer crusher* yang mengalami kegagalan (AISI 8655)

Material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk tidak sesuai standar dengan ASTM A532. Material ini adalah baja AISI 8655 yang merupakan baja paduan dengan kandungan karbon menengah dan memiliki paduan *Chromium*, *Nickel*, dan *Molybdenum*. Tabel 2.5 menunjukkan komposisi kimia pada baja AISI 8655 antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Komposisi Kimia Baja AISI 8655 (Chandler, 1995)

<i>Unsur</i>	<i>%</i>
C	0.51 – 0.59
Si	0.15 – 0.35
Mn	0.75 – 1
P	0.035 max
S	0.040 max
Cr	0.40 – 0.60
Ni	0.40 – 0.70
Mo	0.15 -0.25

Baja AISI 8655 juga memiliki sifat mekanik dan sifat fisik seperti baja – baja yang lainnya, pada Tabel 2.6 menunjukkan data karakteristik mekanik dan fisik serta perlakuan panas yang cocok untuk baja AISI 8655 yaitu :

Tabel 2. 6 Karakteristik mekanik dan fisik pada Baja AISI 8655 (Warmick, 2011)

Mechanical Properties		
Quantity	Value	Unit
Young's Modulus	200.000	Mpa
Tensile Strength	650 – 880	Mpa
Elongation	8 – 25	%



Fatigue	275	Mpa		
Yield Strength	350	Mpa		
Physical Properties				
Quantity	Value	Unit		
Thermal Expansion	10	e-6/K		
Thermal Conductivity	25	W/m.K		
Specific heat	460	J/Kg.K		
Melting Temperature	1450 – 1510	C		
Density	7700	Kg/m ³		
Resitivity	0.55	Ohm.mm ² /m		
Heat treatment				
Annealing	Quenching	Tempering	Normalizing	Q And T
√	√	√	√	√

Perlakuan panas yang direkomendasikan untuk baja AISI 8655 ini antara lain, *Annealing* dengan merubahnya menjadi struktur *sphere* (*speheroidized*) dengan temperatur 750°C. Selain itu bisa menggunakan *hardening* langsung pada temperatur 830°C dengan pendinginan cepat menggunakan oli. Proses pengerasan permukaan seperti *Flame Hardening*, *Gas Nitriding*, *Ion Nitriding*, dan *Carburizing* juga cocok untuk digunakan. *Tempering* pada baja AISI 8655 biasanya dilakukan pada temperatur sekitar 150°C atau diatasnya.

Aplikasi untuk baja AISI 8655 biasanya digunakan pada kapal, mesin, pesawat terbang, misil, senjata, rel kereta api, jembatan, bejana tekan, *machine tools*, dan komponen mekanik yang besar – besar, *gear*, *gear shaft*, *valve rods*, *bolts*, *nuts*, dan *part-part* lainnya dalam mesin. (Chandler, 1995)



2.5 Diagram Fase Fe-Fe₃C

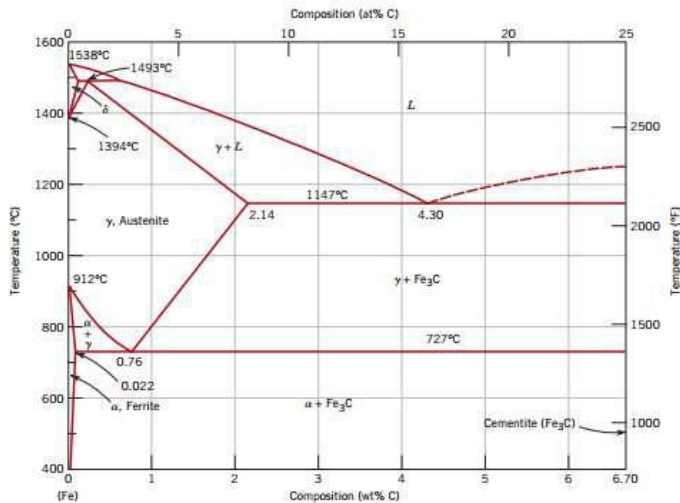
Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstisial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitial*-nya, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe – Fe₃C.

Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.3.

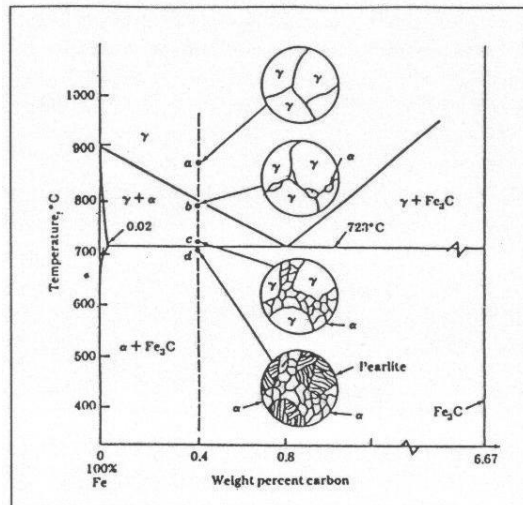
Dari Gambar 2.3 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu:

- Pada 1496°C, kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta = \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1130°C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. $L = \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$
- Pada 723°C, kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*. $\gamma = \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$



Gambar 2.3 Diagram Fasa Fe – Fe₃C (Callister, 1997)

Material *hammer crusher* yang mengalami keausan merupakan baja *hypoeutectoid* karena kadar karbon yang terdapat pada material tersebut adalah baja karbon menengah sehingga fasa yang terbentuk pada temperatur kamar berupa ferrit dan perlit. Gambar 2.4 menunjukkan perubahan fasa yang terjadi saat memanaskan baja *hypoeutectoid* sampai diatas temperatur austenit dengan menggunakan pendingan yang sangat lambat.



Gambar 2. 4 Plot struktur mikro pada baja *hypoeutectoid* yang didinginkan secara lambat (Avner, 1974)

2.6 Baja Paduan

Baja adalah paduan besi dan karbon yang mungkin mengandung konsentrasi yang cukup dari lainnya paduan unsur; ada ribuan paduan yang memiliki komposisi yang berbeda perlakuan dengan panas. Sifat mekanik yang sensitif terhadap kandungan karbon, yang biasanya kurang dari 1,0% berat. Beberapa baja yang lebih umum adalah diklasifikasikan menurut konsentrasi karbon-yaitu, menjadi rendah, menengah, dan tinggi karbon jenis. *Subclass* juga ada dalam masing-masing kelompok sesuai dengan konsentrasi dari elemen paduan lainnya. baja karbon biasa hanya berisi konsentrasi residu kotoran selain karbon dan baja paduan *manganese*. Sedikit lebih paduan unsur sengaja ditambahkan dalam konsentrasi tertentu. (Callister, 2007)



Baja karbon-sedang memiliki konsentrasi karbon antara sekitar 0,25 dan 0.60 wt%. Paduan ini mungkin dipanaskan oleh *austenitizing*, pendinginan, dan kemudian temper untuk meningkatkan sifat mekanik baja karbon menengah. Baja menengah paling sering digunakan dalam keadaan temper, memiliki mikro struktur martensit temper. Baja menengah biasa memiliki *hardenability* rendah dan dapat berhasil *heat treatment* hanya di bagian yang sangat tipis dan dengan pendinginan yang sangat cepat. Penambahan kromium, nikel, dan molibdenum meningkatkan kapasitas paduan ini menjadi *heat-treated*. Sehingga menimbulkan berbagai kombinasi kekuatan-keuletan. Paduan yang dipanaskan ini lebih kuat daripada baja karbon rendah, tetapi mengurangi keuletan dan ketangguhan. Aplikasi dari baja menengah yaitu termasuk roda kereta api dan rel, roda gigi, poros engkol, dan bagian-bagian mesin lainnya dan kekuatan tinggi komponen struktural yang membutuhkan kombinasi kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan ketangguhan. Komposisi beberapa baja karbon-sedang paduan tersebut pada Tabel 2.7. (Callister, 2007)

Tabel 2. 7 Komposisi karbon pada berbagai material baja karbon menengah (Callister, 2007)

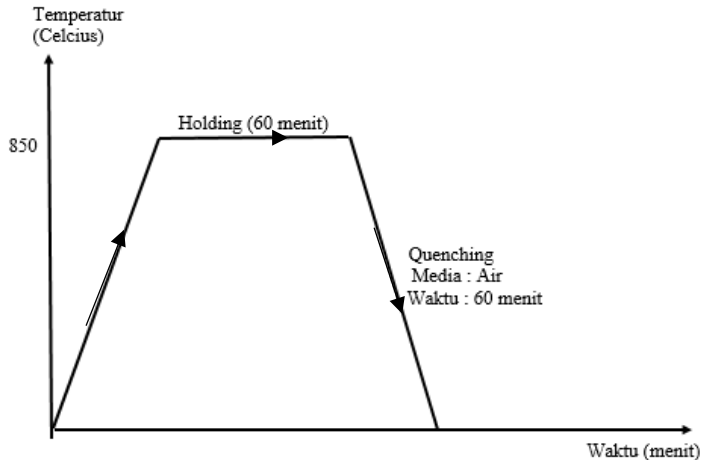
AISI/SAE	UNS	Composition Ranges (Wt% Of Alloying Elements in Addition to C)			
		Ni	Cr	Mo	Other
10xx. Plain Carbon	G10xx0				
11xx Free Machining	G11xx0				0.10 – 0.35S
12xx Free Machining	G12xx0				0.04 – 0.12p
13xx	G13xx0				1.60–1.90 Mn



40xx	G40xx0			0.20 -0.30	
41xx	G41xx0		0.80 – 1.10	0.15 – 0.25	
43xx	G43xx0	1.65 – 2.00	0.40 – 0.90	0.20 – 0.30	
46xx	G46xx0	0.70 – 2.00		0.15 – 0.30	
48xx	G48xx0	3.25 – 3.75		0.20 – 0.30	
51xx	G51xx0		0.70 – 1.10		
61xx	G61xx0		0.50 – 1.10		0.10 – 0.15V
86xx	G86xx0	0.40 – 0.70	0.40 – 0.60	0.15 – 0.25	
92xx	G92xx0				1.80 – 2.20Si

2.7 Hardening

Baja dikeraskan dengan austenitisasi, pendinginan cepat (*quenching*), dan kemudian *tempering* untuk mencapai kekerasan akhir. Baja memiliki komposisi yang berbeda-beda maka dari itu penting untuk memahami ketebalan maksimum yang dapat dikeraskan pada suatu media pendingin yang spesifik, misalnya air atau minyak, dan memperkirakan variasi kekuatan akhir dan keuletan yang dapat diperoleh pada temperatur *tempering* yang berbeda-beda. Prosedur untuk *quenching* dan *tempering*. *Tempering* tidak digunakan untuk mengeraskan baja. Baja dikeraskan dengan austenitisasi dan *quenching*. *Tempering* dilakukan untuk mengembalikan keuletan yang hilang saat dikeraskan dan biasanya penghalusan (*softening*) diperoleh dengan *tempering*.



Gambar 2.5 Mekanisme *hardening*

Kandungan karbon sangat penting terhadap kemampuan suatu baja untuk dikeraskan. Keuletan berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon, kandungan karbon pada umumnya dijaga sekitar 0,45% pada baja teknik. Penambahan unsur paduan akan menggeser hidung diagram TTT ke kanan, sehingga mempermudah benda kerja yang tebal untuk dikeraskan. Unsur paduan tidak meningkatkan kekerasan martensit secara signifikan, tetapi *hardenability*, kedalaman dari permukaan struktur mikro martensit dapat dihasilkan pada baja. (Campbell, 2008). Mekanisme *hardening* diatas adalah penelitian yang dilakukan sebelumnya memberikan hasil terbaik dengan kekerasan 548 BHN. Selanjutnya akan dilakukan penelitian *tempering* untuk meningkatkan energy impak dari *hammer crusher*.

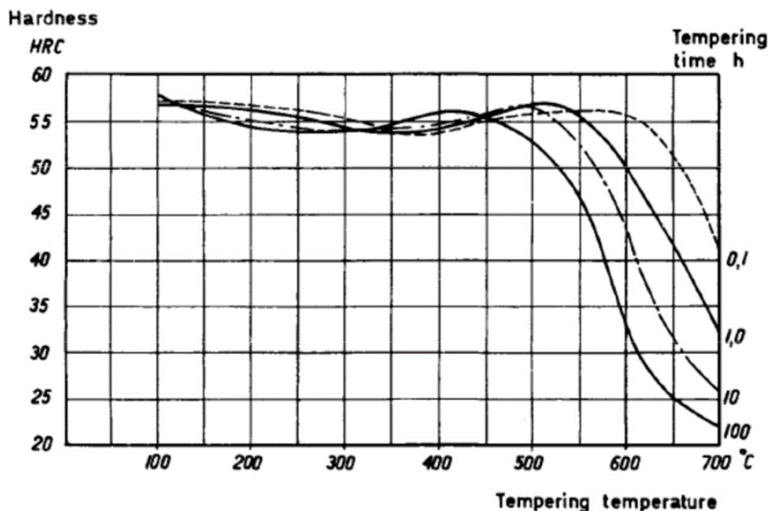
2.8 Tempering

Baja yang dikeraskan dengan pendinginan celup menjadi martensit akan sangat keras tetapi juga getas. Dengan memanaskan kembali martensit ini akan bertransformasi menjadi berbagai produk transformasi, yang lebih ulet/tangguh.



Penemperan harus segera dilakukan, biasanya sebelum baja mencapai temperatur kamar, sekitar 50 - 75 °C. Penemperan dilakukan dengan memanaskan kembali martensit ke suatu temperatur dan menahan pada tempertur tersebut selama beberapa saat (1 – 2 jam untuk tiap inch tebal benda) kemudian didingin-kan kembali. Tingginya temperatur pemanasan dan lamanya waktu tahan (*tempering time*) sangat menentukan kekerasan yang terjadi setelah penemperan.

Dengan melakukan penemperan pada berbagai temperatur (dengan waktu temper tertentu) diperoleh variasi kekerasan setelah penemperan. Temperatur temper dan kekerasan yang terjadi diplot dalam suatu grafik kekerasan-temperatur temper diperoleh suatu *kurva temper* (*tempering curve*) seperti pada Gambar 2.6 Gambar itu menunjukkan hubungan antara kekerasan yang terjadi setelah penemperan (*hardness after tempering*) dengan temperatur temper. Pada Gambar itu juga diperlihatkan kurva untuk penemperan dengan berbagai waktu temper (0,1, 1, 10 dan 100 jam).



Gambar 2.6 Kurva *temper* dari baja H 13, dengan berbagai waktu temper (Suherman, 2011)



2.8.1. Parameter temper (*tempering parameter*)

Ternyata bahwa kekerasan sesudah penemperan tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur, tetapi juga waktu penemperan. Holomon dan Jaffe menyatakan hubungan ini dengan suatu *parameter temper* (*tempering parameter*). Kekerasan yang sama akan diperoleh bila penemperan dilakukan dengan parameter temper yang sama. Parameter temper dinyatakan sebagai :

$$P = T (k + \log t) \quad \dots\dots 2.1$$

Dimana:

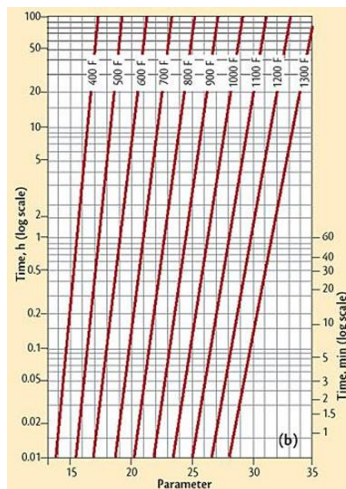
P = parameter temper

T = temperatur temper (absolut, oK atau oR)

k = konstanta (20 untuk temperatur oK, literatur lain menggunakan k = 18 untuk T dalam oR)

t = waktu temper (jam)

Hubungan antara parameter temper, temperatur temper (oF) dan waktu temper ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 2.7 berikut ini.

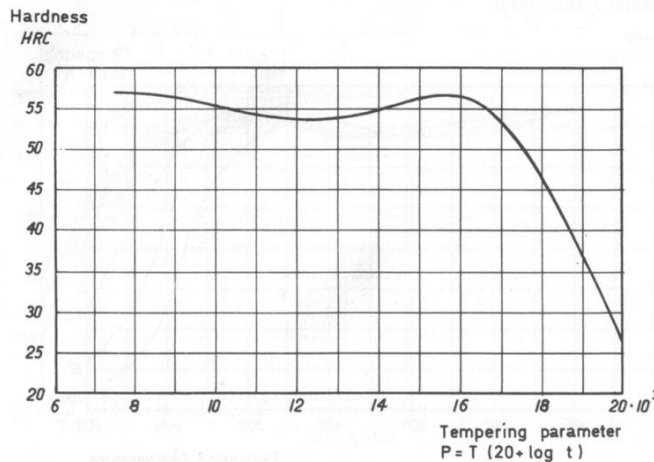


Gambar 2.7. Hubungan parameter temper dengan temperatur dan waktu temper (Suherman, 2011)



Dari kurva temper, untuk setiap titik dapat dicari harga parameter temper dan kekerasan setelah temper untuk titik tersebut. Selanjutnya dari hasil perhitungan itu diplot suatu kurva yang menggambarkan kekerasan setelah temper sebagai fungsi dari parameter temper, kurva ini dinamakan *master curve*.

Dengan *master curve* dapat dicari berapa parameter tempernya bila diinginkan suatu kekerasan tertentu. Selanjutnya dengan parameter temper tersebut dapat dicari temperatur dan waktu tempernya dengan menggunakan formula di atas (dengan menetapkan salah satu).



Gambar 2.8. *Master curve* untuk penemperan dari baja H 13
(Suherman, 2011)

2.8.2. Kekerasan setelah temper

Unsur paduan, selain mempermudah terjadinya martensit juga menghambat dekomposisi martensit pada saat penemperan. *Jaffe dan Gordon* membuat suatu formula untuk memperhitungkan temperatur temper bila diinginkan harga kekerasan setelah *tempering* tertentu berdasarkan komposisi kimia dari baja tersebut. Rumus ini berlaku dengan asumsi bahwa dengan pengerasan diperoleh struktur martensitik. Rumusnya:



$$TF = 30 (Hc - Ha) \quad \dots 2.2$$

atau

$$TC = 16,67 (Hc - Ha) - 17,8 \quad \dots 2.3$$

Dimana:

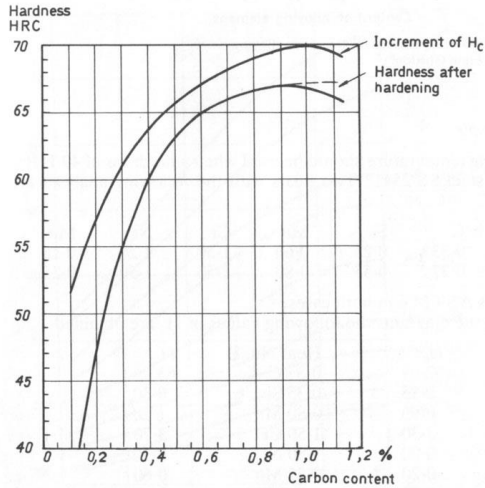
TF (TC) : Temperature *tempering* dalam °F (°C)

Hc : Kekerasan Rc dihitung berdasarkan komposisi kimia

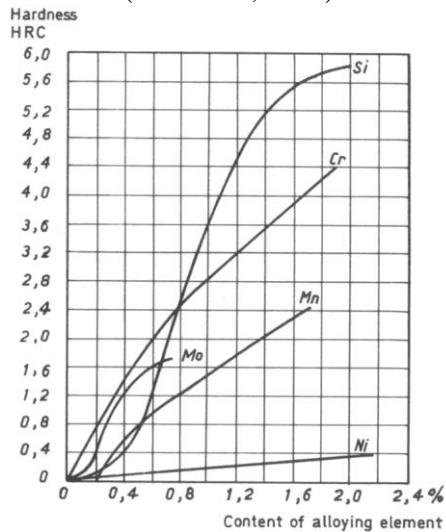
Ha : Kekerasan Rc setelah *tempering*, yang diinginkan Rumus ini berlaku untuk waktu temper 4 jam

Ukuran butir juga berpengaruh terhadap Hc , butir yang halus menaikkan ketahanan terhadap pelunakan dengan harga sebagai berikut:

Nomor ukuran butir ASTM	4	6	8	10
Kenaikan Hc	0,6	0,9	1,2	1,5
		- 159 -		



Gambar 2.9 Kenaikan kekerasan H_c berdasarkan kadar karbon, dan kekerasan setelah subzero treatment dan temper 100°C (Suherman, 2011)



Gambar 2.10 Pengaruh unsur paduan terhadap perubahan kekerasan (Suherman, 2011)



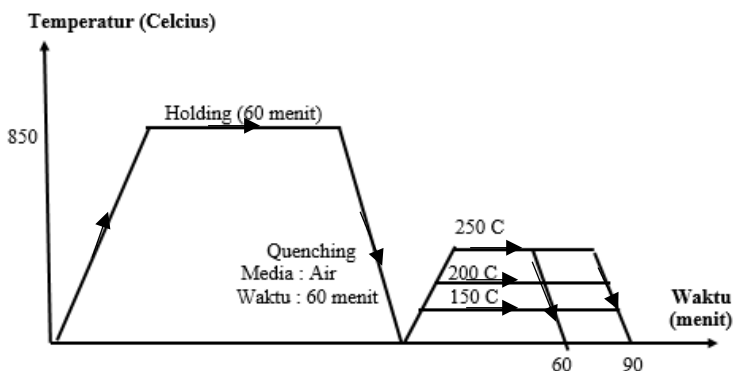
Sehingga berikut perhitungan temperatur *tempering* yang sesuai pada waktu tahan 60 menit sesuai dengan komposisi dan kemampuan dikeraskan *hammer crusher*.

$$\begin{aligned} TC &= 16,67 (Hc-Ha)-17,8 \\ TC &= 16,67(55-47) - 17,8 \\ TC &= 115 \text{ C (405 K)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= T (K + \log t) \\ P &= 388 \text{ K (20 + Log 4)} \\ P &= 7993 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= T (20 + \log 1) \\ T &= 417 \text{ K} \\ T &= 126 \text{ C} \end{aligned}$$

Dari perhitungan Ditemukan temperatur *tempering* 126 Celcius (405 Kelvin), Sehingga dalam penelitian ini digunakan variabel 150 Celcius, 200 Celcius dan 250 Celcius. Sedangkan variail waktu tahan *tempering* menggunakan waktu 60 menit dan 90 menit



Gambar 2.11 Kurva perlakuan panas

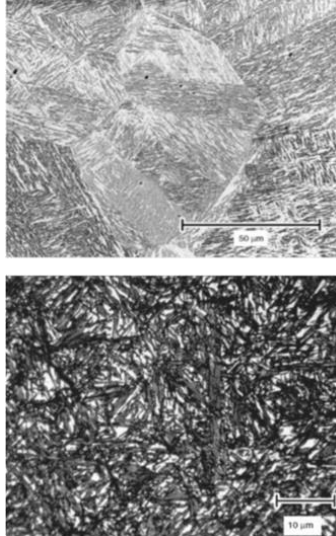
2.9 Fase Hasil Transformasi

Proses perlakuan panas akan menghasilkan beberapa jenis fasa. Fasa yang terbentuk dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya komposisi kimia, temperatur transformasi, dan laju pendinginan. Jenis fasa yang tercipta pada baja adalah *Martensite* dan *bainite*.

Martensite memiliki struktur kristal BCT (Body Centered Tetragonal). Martensit mempunyai kandungan karbon yang sangat jenuh dalam ferritnya. Bersifat metastabil, dengan kekerasan yang



tinggi. Morfologinya berbentuk lath saat kadar karbon besi $<0,6$ wt% dan berbentuk plate saat kadar karbon $>1,0$ wt% seperti gambar 2.12



Gambar 2. 12 Struktur mikro lath martensite (atas) dan plate martensite (bawah). Struktur martensit didapat dari proses quenching (Warmuzek, 2004)

Saat martensit mengalami proses *tempering*, maka struktur yang terbentuk adalah martensit temper pada gambar 2.13 Struktur ini terdiri atas martensit dengan bilah yang lebih kasar dan butiran-butiran kecil karbida yang mengalami presipitasi.



Gambar 2. 13 Struktur mikro martensit temper (*Warmuzek, 2004*)

Bainit adalah struktur yang terbentuk dari ferrit dan sementit dengan ukuran sangat halus. Namun tidak seperti perlit, strukturnya tidak berbentuk *lamellar*. Bainit dibagi menjadi dua, *lower bainite* dengan bentuk *feathery* (menyerupai bulu) dan *upper bainite* dengan bentuk *acicular* (menyerupai jarum). *Upper bainite* terbentuk pada temperatur transformasi yang cenderung tinggi, sementara *lower bainite* terbentuk pada temperatur yang lebih rendah, saat pendinginan berlangsung secara isothermal. Kekerasan pada bainit akan meningkat seiring dengan turunnya temperatur transformasinya. (*Warmuzek, 2004*)



Gambar 2. 14 Struktur mikro bainit dari baja paduan rendah yang telah mengalami perlakuan panas (*Warmuzek, 2004*)



2.10 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material.

Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, hal ini tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*),
2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*),
3. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standart terhadap *indenter*. Terdapat berbagai macam uji kekerasan indentasi, antara lain: uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell* dan *Knoop*.

Kekerasan dari besi cor umumnya cukup tinggi, sehingga untuk mendapatkan hasil yang maksimum, maka metode pengujian kekerasan yang cocok adalah dengan menggunakan *Brinell Hardness Testing*. (Murtiono, 2012)

2.10.1 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antara permukaan piramida saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Angka kekerasan piramida intan, atau kekerasan *Vickers* (*VHN* atau *VPH*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1987). Pada praktek luas ini dihitung dari pengukuran

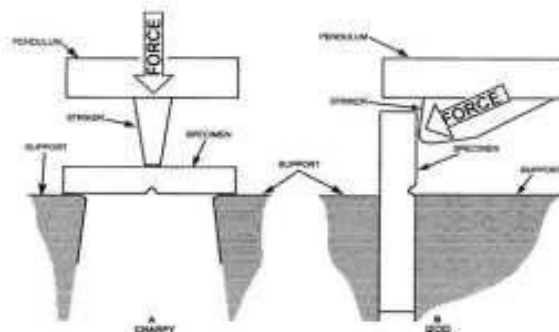


mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,845P}{L^2} \quad \dots\dots 2.4$$

2.11 Pengujian impak

Uji impak adalah pengujian yang dilakukan dengan memberikan beban secara tiba-tiba (beban kejut). Metode standar untuk uji impak ini ada 2, yaitu uji impak metode *charpy* dan metode *izod*. Metode *charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode *izod* lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa. Batang uji metode *charpy* memiliki spesifikasi, luas penampang 10 mm x 10 mm, takik berbentuk V. Proses pembebanan uji impak pada metode *charpy* dan metode *izod* dengan sudut 45°, kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0.25 mm. Batang uji *izod*, lebih banyak dipergunakan saat ini, memiliki luas penampang berbeda dan takik berbentuk v yang lebih dekat pada ujung batang. Gambar 2.15 menunjukkan dua metode ini juga memiliki perbedaan pada proses pembebanan. (Dieter, 1987).



Gambar 2.15 Pembebanan Metode *Charpy* dan Metode *Izod*
(Handoyo, 2013)



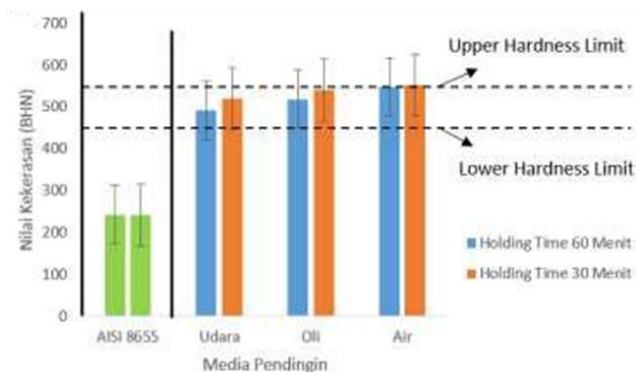
Dimana benda uji dibuat takikan sesuai dengan standar ASTM E23 05 dan hasil pengujian adalah perubahan bentuk seperti bengkokan atau patahan sesuai dengan keuletan atau kegetasan terhadap benda uji tersebut.

2.12 Penelitian Sebelumnya

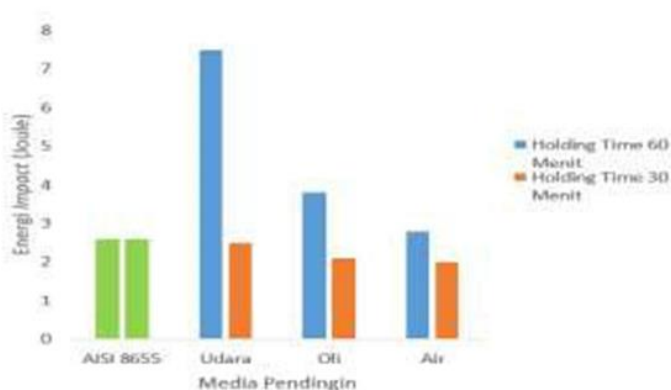
Pada penelitian sebelumnya oleh Yudha Prakasa dengan judul “Analisis pengaruh variasi waktu tahan dan media pendingin pada proses *hardening* material baja AISI 8655” dilakukan proses *hardening* pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 30 menit dan 60 menit, yang kemudian di *quench* dengan media pendingin udara, oli, dan air untuk meningkatkan kekerasannya dan meningkatkan ketahanan aus nya. Setelah di *hardening*, komponen di uji impak, *hardness*, dan metalografi untuk dibandingkan pada kondisi awalnya. Hasil percobaan ini diperoleh bahwa kekerasan komponen meningkat dari yang semula 243 BHN menjadi 400-550 BHN. Namun nilai energi impak yang ditemukan cenderung rendah pada masing-masing spesimen. Sehingga perlu dilakukan *tempering* untuk meningkatkan energi impak sebagai solusi terbaik dari *hammer crusher*. Berikut data hasil pengujian kekerasan dan energi impak pada masing-masing spesimen.

Tabel 2.8 Kekerasan dan energi impak setelah *hardening*

Nama Spesimen	Kekerasan (BHN)	Energi Impact (Joule)
AISI 8655	243±7	2,6
AISI 8655 HT60-AQ	491±23	7,5
AISI 8655 HT60-OQ	518±25	3,8
AISI 8655 HT60-WQ	548±13	2,8
AISI 8655 HT30-AQ	520±9	2,5
AISI 8655 HT30-OQ	540±13	2,1
AISI 8655 HT30-WQ	552±11	2



Gambar 2.16 kekerasan setelah proses *hardening* AISI 8655



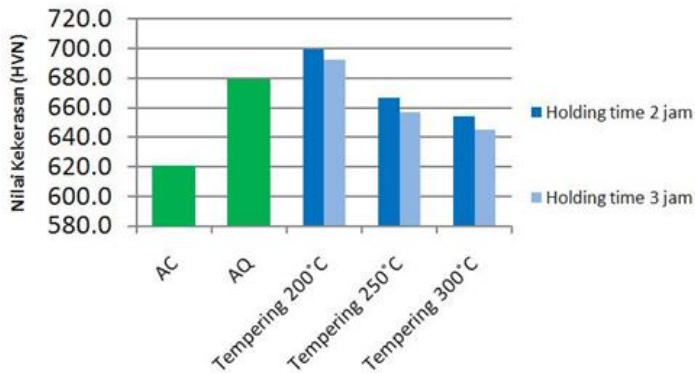
Gambar 2.17 Energi impact setelah proses *hardening* AISI 8655

Dipilih material dengan perlakuan *hardening* pada temperatur 850 Celcius, *holding time* 60 menit dan media pendingin air sebagai spesimen untuk diberi perlakuan *tempering*. Karena material ini memiliki nilai kekerasan yang sangat tinggi yaitu 548 HV dan energi impact yang cenderung kecil yaitu 2,8 Joule. Dimana nilai kekerasan minimal sesuai standard *hammer crusher* A532 adalah 480 HV dan nilai energi impact sesuai standard *white*

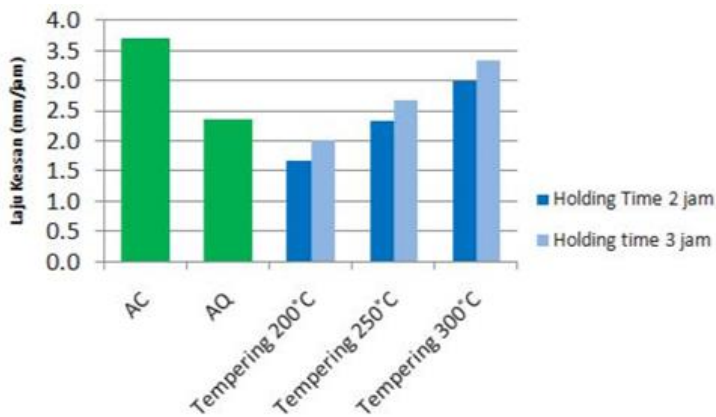


cast iron adalah 2,8 Joule. Dengan nilai kekerasan yang cenderung jauh diatas *standard Hammer crusher A532* dan nilai energi impact pada batas minimal *standard white cast iron*, sehingga sangat tepat dilakukan perlakuan panas *tempering* untuk meningkatkan energi impact material namun tetap menjaga nilai kekerasan pada *standard hammer crusher A532*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Argya barata yang menganalisis tentang pengaruh temperatur dan waktu tahan *tempering* pada *hammer crusher*, dilakukan analisis kegagalan dari *hammer crusher* dan solusi dari kegagalan tersebut berupa *hardening* dan *tempering*. Solusi yang ditawarkan dari kegagalan ini yaitu perlakuan panas yang dapat menghasilkan kekerasan yang sesuai dengan standar kekerasan ASTM A532 berupa *hardening* pada temperatur 1000 C dan *tempering* dengan variasi temperatur *hardening* pada 200 C, 250 C, dan 300 C, serta variasi waktu tahan 2 jam dan 3jam. Setelah diberi perlakuan panas, nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan *hardening* dan *tempering* pada temperatur 200 C dengan waktu tahan 2 jam. Nilai kekerasan yang didapat adalah 699,6 HV, dengan laju keausan sebesar 1,67 mm/jam. Dari penelitian diketahui bahwa, nilai kekerasan berbanding terbalik dengan laju keausan, yang menandakan laju keausan rendah memiliki ketahanan aus yang tinggi. Selain itu setelah proses *tempering* dapat diketahui bahwa nilai kekerasan cenderung menurun dan laju keausan meningkat. Selengkapanya ditunjukkan pada gambar 2.18 dan dambar 2.19 .



Gambar 2.18 kekerasan setelah proses *tempering*

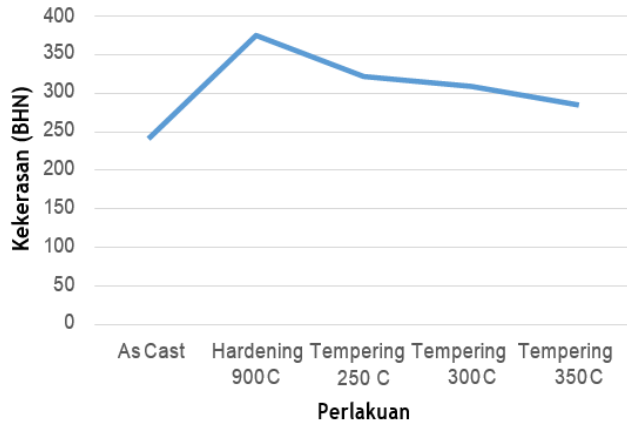


Gambar 2.19 Laju keausan setelah proses *tempering*

Pada penelitian pengaruh perlakuan *tempering* terhadap perubahan struktur mikro dan perubahan mekanik coupler yoke rotary yang dilakukan Ditri Mahbegi pada 2016 ditemukan bahwa Kekerasan terbesar diperoleh pada spesimen hardening dan nilainya menurun ketika diberikan perlakuan tempering. Penurunan nilai kekerasan seiring dengan peningkatan temperatur

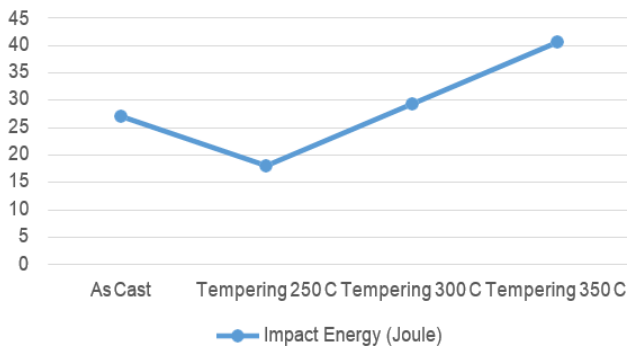


tempering. Hasil uji kekerasan ditunjukkan oleh gambar 2.20 berikut



Gambar 2.20 Pengaruh tempering terhadap kekerasan

Sementara sebaliknya perlakuan tempering energi impak meningkat ketika diberikan perlakuan tempering. Dan peningkatan kekerasan seiring dengan peningkatan temperatur tempering. Hasil pengujian impak ditunjukkan oleh gambar 2.21 berikut



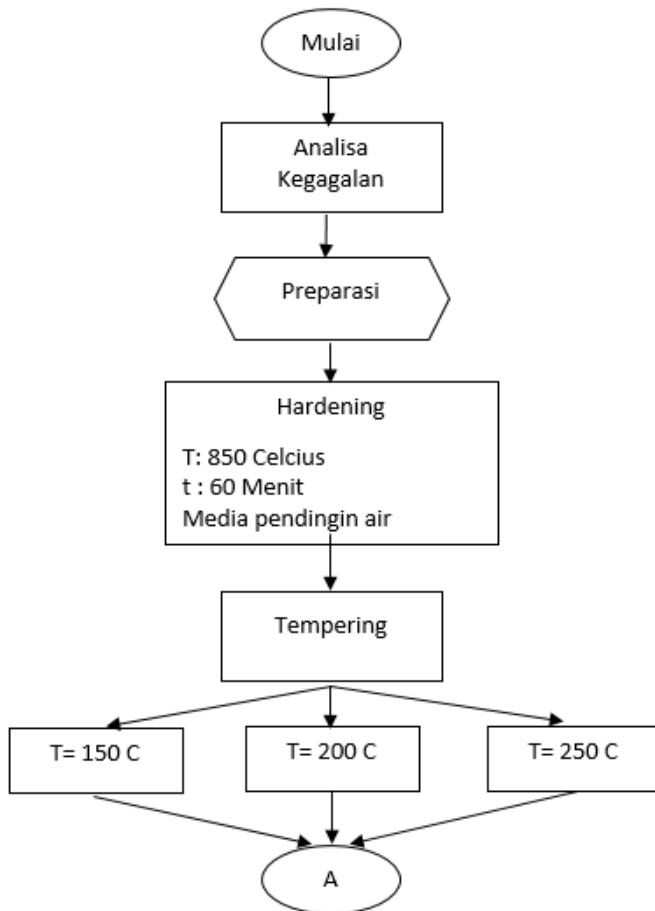
Gambar 2.21 Pengaruh tempering terhadap energi impak

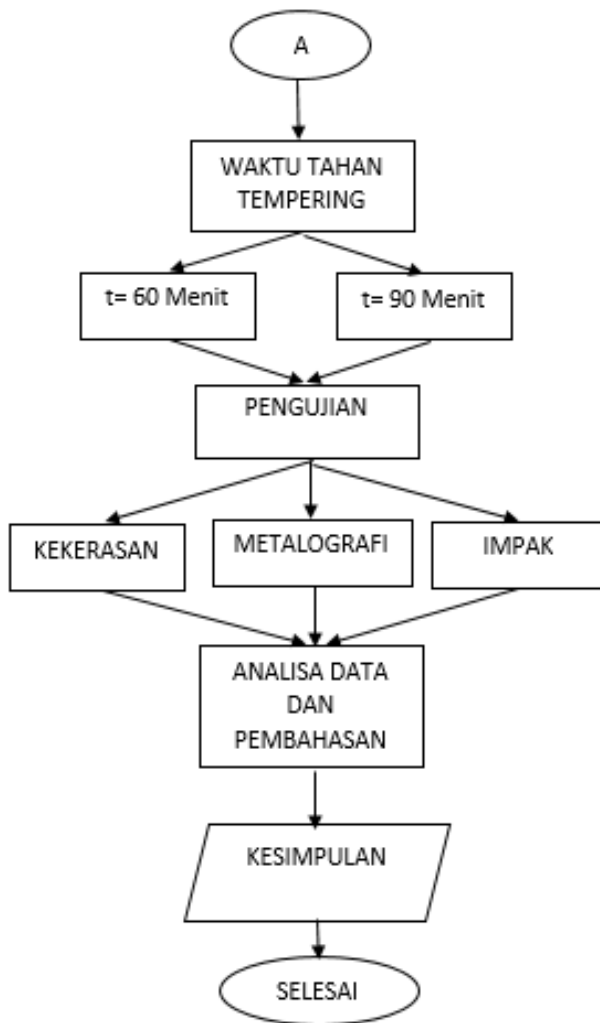
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukan dalam Gambar 3.1 dibawah ini





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literatur. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan khususnya keausan pada *hammer crusher*.

2. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : melihat record dari *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia Tbk, pengamatan makro dengan menggunakan kamera DSLR, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer, uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *hammer crusher* dan uji *impact* untuk mengetahui kekuatan dan ketangguhan pada material *hammer crusher*.

3.3 Material yang Digunakan

1. Material

Pada tanggal 21 Juli 2016 ditemukan *hammer crusher* pada *clinker cooler* pabrik Tuban mengalami keausan yang diperlihatkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 komponen *hammer crusher* yang aus.

Material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia Tbk merupakan material *hammer crusher* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Hammer Crusher*

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al
%	0.59 6	0.3 75	0.7 75	0.0 19	0.0 06	0.0 37	0.3 99	1.9 14	0.2 29	0.0 55

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris. Digunakan untuk mengukur spesimen.
2. Mesin *wire cut*. Digunakan untuk memotong spesimen
3. Kamera digital. Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro.
4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji



Gambar 3.3 Mesin OES

5. Alat Uji Kekerasan

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji.



Gambar 3.4 Alat Uji Kekerasan

6. Uji Impak

Digunakan untuk mengetahui nilai beban kejut dari material uji



Gambar 3.5 Alat Uji Impak

7. Amplas SiC grade 80 hingga 2000
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
8. Mesin Polish
Digunakan untuk preparasi mikroskop optik.
9. Larutan Etsa 74a
Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi.
74 a terdiri dari 1-5 mL HNO_3 + 100ML *ethanol* (95%)
atau *methanol* (95%)
10. Mikroskop Optik
Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro
fasa yang terdapat pada material uji.



Gambar 3.6 Mikroskop Optik



11. Alat uji ketahanan Aus

Digunakan untuk mendapatkan nilai laju keausan
Material uji



Gambar 3.7 Alat uji ketahanan aus

12. *Dielectric heating furnace*

Digunakan untuk melakukan perlakuan panas.



Gambar 3.8 *Dielectric furnace*

3.5. Tahapan Penelitian

3.5.1 Preparasi Spesimen

Proses preparasi dilakukan pada bagian ujung *hammer crusher* yang terindikasi adanya kegagalan. Spesimen terindikasi adanya beban siklik serta bagian yang jauh dari aus akan diuji



sebagai perbandingan antara material yang baru dengan material yang sudah gagal.

3.5.2 Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas yang dilakukan adalah dengan proses *hardening*, material dipanaskan hingga temperatur 850°C kemudian ditahan dengan waktu tahan 60 menit kemudian didinginkan dengan media pendingin air. Selanjutnya di *tempering* pada temperatur 150 °C, 200 °C, dan 250 °C. Serta ditahan saat *tempering* pada masing-masing 60 dan 90 menit.

3.5.3 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode metode *vickers* dimana dalam pengujiannya memakai indenter intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5 A* di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material.

3.5.4 Uji Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kekuatan dengan memberikan beban kejut pada material uji. Pengujian ini menggunakan metode *izod* dengan mesin alat uji *impact* di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS.



3.6 Rancangan Penelitian

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

Mater ial	Harde ning 850 C, 60 menit	Quen ching (air)	Tempe ring (Celciu s)	Holdin g time (Menit)	Pengu jian Metal ografi	Penguji an Kekera an	Pengujian Impak
H.C	√	√					
H.C T1	√	√	150	60	√	√	√
H.C T1	√	√	150	90	√	√	√
H.C T2	√	√	200	60	√	√	√
H.C T2	√	√	200	90	√	√	√
H.C T3	√	√	250	60	√	√	√
H.C T3	√	√	250	90	√	√	√



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 ANALISA DATA

4.1.1 Perlakuan Panas

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan perlakuan *hardening* untuk meningkatkan sifat kekerasan yang memenuhi *standard hammer crusher* ASTM A532. Proses *hardening* ditunjukkan oleh jenis spesimen AISI 8655 dengan pemanasan hingga 850 Celcius dengan waktu tahan 60 menit dan didinginkan dengan media air. Proses *hardening* ini dipilih karena memiliki nilai kekerasan dan energi impak paling stabil dan memenuhi standard dibanding proses *hardening* lain pada penelitian sebelumnya. Ditemukan bahwa nilai kekerasan melebihi standard yang dibutuhkan yaitu 580 HV dimana *standard hammer crusher* ASTM A532 485 HV dan nilai impak tepat pada batas minimal *standard white cast iron* yaitu 2,8 Joule. Nilai impak ini sangat rentan terhadap failure/kerusakan. Padahal sesuai dengan *standard white cast Iron*, material dapat ditingkatkan nilai energi impaknya hingga mencapai 4,5 Joule. Sehingga dilakukan *tempering* untuk meningkatkan nilai impak namun dengan tetap menjaga kekerasan lebih dari nilai kekerasan standard. Heat treatment yang dilakukan pada masing-masing spesimen uji ditunjukkan pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Kode spesimen dan Heat treatment

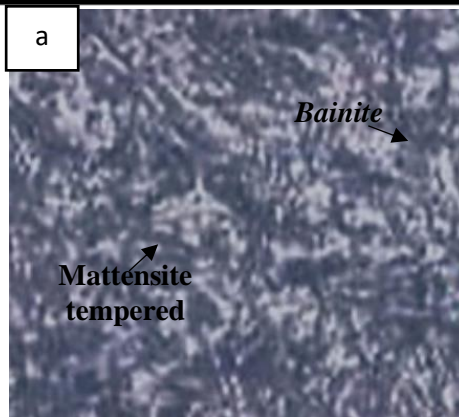
Kode Spesimen	Heat treatment
AISI 8655H	Temperature <i>hardening</i> 850 + holding time 60 menit + Water quench
AISI 8655H TT150-t60	(Temperature <i>hardening</i> 850 + holding time 60 menit + Water quench) + <i>Tempering</i> 150 C 60 menit



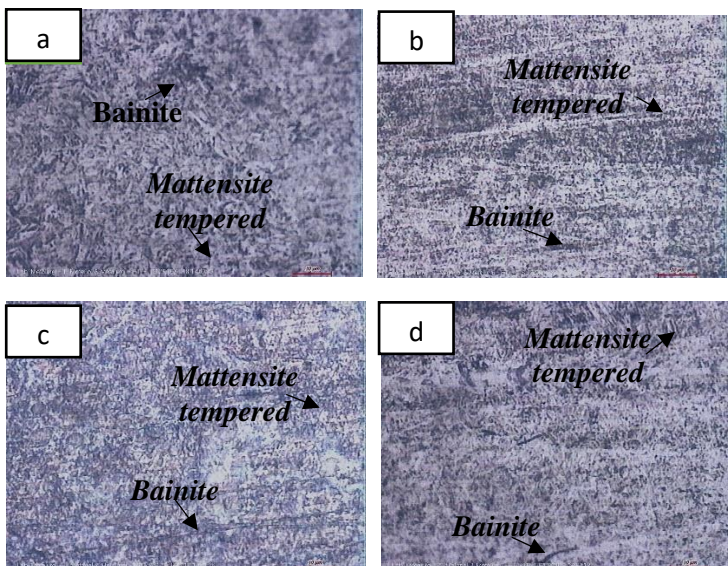
AISI 8655H TT200-t60	(Temperature <i>hardening</i> 850 + holding time 60 menit + Water quench) + <i>Tempering</i> 200 C 60 Menit
AISI 8655H TT250-t60	(Temperature <i>hardening</i> 850 + holding time 60 menit + Water quench) + <i>Tempering</i> 250 C 60 menit
AISI 8655H TT150-t90	(Temperature <i>hardening</i> 850 + holding time 60 menit + Water quench) + <i>Tempering</i> 150 C 90 menit
AISI 8655H TT200-t90	(Temperature <i>hardening</i> 850 + holding time 60 menit + Water quench) + <i>Tempering</i> 200 C 90 menit
AISI 8655H TT250-t90	(Temperature <i>hardening</i> 850 + holding time 60 menit + Water quench) + <i>Tempering</i> 250 C 90 menit

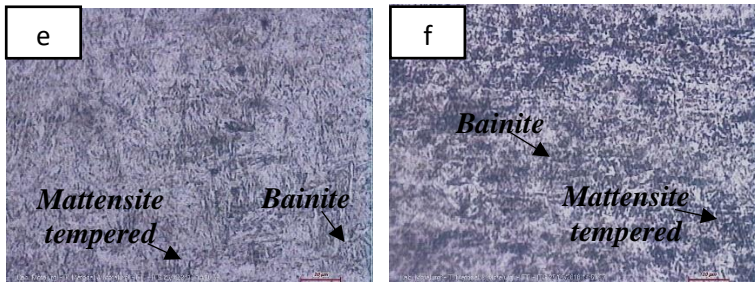
4.1.2 Hasil Pengujian metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro baja AISI 8655 setelah dilakukan perlakuan panas. Struktur mikro yang ditemukan adalah *Martensite* dan *Bainit* pada baja AISI 8655 *hardened* serta *Martensite tempered* dan *Bainit* pada *hardened – tempering*.



Gambar 4.1 Struktur mikro Baja AISI 8655 *hardened* (a) AISI 8655H

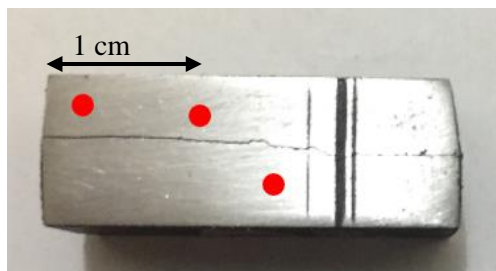




Gambar 4.2 Hasil Pengujian metalografi dengan perbesaran 100x setelah *hardened – tempering*. (a) AISI 8655H TT150-t60 (b) AISI 8655H TT200-t60 (c) AISI 8655H TT250-t60 (d) AISI 8655H TT150-t90 (e) AISI 8655H TT200-t90 (f) AISI 8655H TT250-t90

4.1.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan *Universal Hardness tester HBRV 187.5 A* dengan metode pengujian Vickers. Beban yang digunakan sebesar 100 Kgf dengan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini didasarkan pada standard ASTM E92 tentang pengujian kekerasan Vickers. Pengujian dilakukan di tiga titik seperti gambar 4.3 berikut.



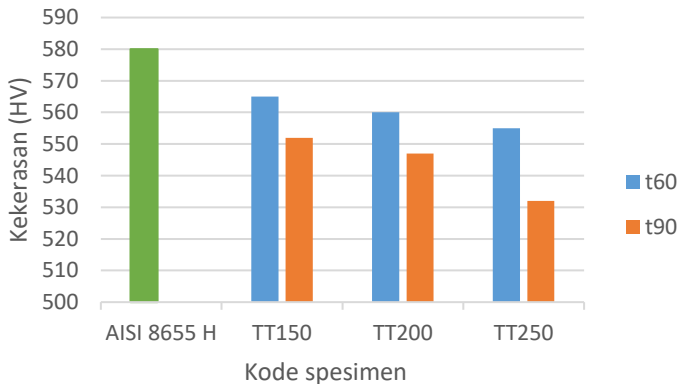
Gambar 4.3 Pembagian daerah indentasi uji kekerasan



Setelah pengujian dilakukan, kemudian dapat ditentukan nilai rata-rata kekerasan setiap spesimen setelah perlakuan panas. Tabel 4.2 menunjukkan nilai kekerasan rata-rata masing-masing spesimen.

Tabel 4.2 Nilai Uji kekerasan

Kode Spesimen	Kekerasan (HV)
AISI 8655 H	580
AISI 8655H TT150-t60	565
AISI 8655H TT200-t60	560
AISI 8655H TT250-t60	555
AISI 8655H TT150-t90	552
AISI 8655H TT200-t90	547
AISI 8655H TT250-t90	532



Gambar 4.4 Grafik uji kekerasan

Dari tabel 4.2 apat diketahui bahwa nilai kekerasan AISI 8655 H (sebelum *tempering*) memiliki nilai kekerasan 580 HV, spesimen uji AISI 8655H TT150-t60 dengan temperatur *tempering* 150 Celcius dan waktu *tempering* 60 menit memiliki kekerasan 565 HV, spesimen uji AISI 8655H TT200-t60 dengan temperatur

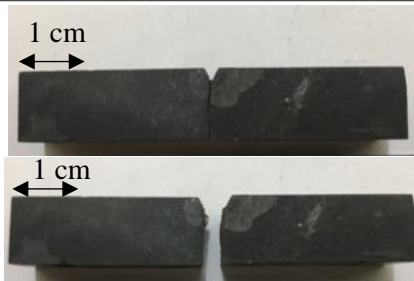


tempering 200 Celcius dan waktu *tempering* 60 menit memiliki kekerasan 560 HV, spesimen uji AISI 8655H TT250-t60 dengan temperatur *tempering* 250 Celcius dan waktu *tempering* 60 menit memiliki kekerasan 555 HV, spesimen uji AISI 8655H TT150-t90 dengan temperatur *tempering* 150 Celcius dan waktu *tempering* 90 menit memiliki kekerasan 552 HV, spesimen uji AISI 8655H TT200-t90 dengan temperatur *tempering* 200 Celcius dan waktu *tempering* 90 menit memiliki kekerasan 547 HV, spesimen uji AISI 8655H TT250-t90 dengan temperatur *tempering* 250 Celcius dan waktu *tempering* 90 menit memiliki kekerasan 532 HV.

Dari grafik gambar 4.4 diketahui bahwa masing-masing spesimen memiliki nilai kekerasan berbeda akibat dari perbedaan temperatur *tempering* dan waktu tahan *tempering*. Dari gambar dapat diketahui bahwa nilai kekerasan semua spesimen uji menurun setelah dilakukan *tempering*. Nilai kekerasan *tempering* paling tinggi terjadi pada spesimen AISI 8655H TT150-t60 *temperature tempering* 150 Celcius dan waktu tahan *tempering* 60 menit.

4.1.4 Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan pengujian untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap beban pukulan yang diberikan secara tiba-tiba (beban kejut) dinyatakan dengan besar energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen uji. Metode impak yang digunakan adalah izod V notch. Pada gambar berikut ini menunjukkan pola patahan setelah pengujian impak.

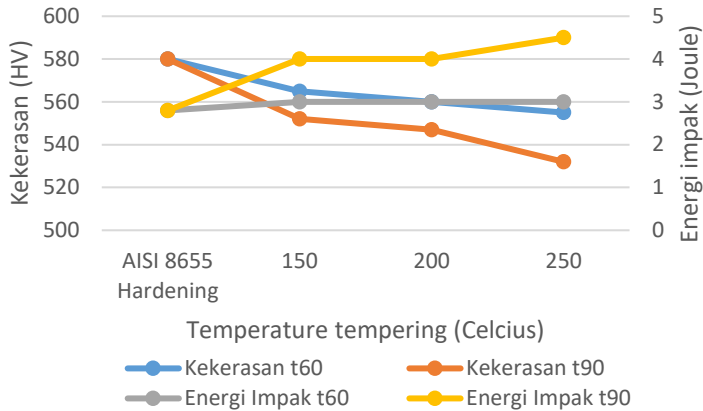


Gambar 4.5 Pola patahan Uji Impak AISI 8655 H

Setelah dilakukan pengujian, kemudian dapat ditentukan nilai energi joule (impak) dari masing-masing spesimen seperti yang ditunjukkan tabel berikut ini.

Tabel 4.3 Nilai energi Impak

Kode Spesimen	Impak (Joule)
AISI 8655 H	2,8
AISI 8655H TT150-t60	3
AISI 8655H TT200-t60	3
AISI 8655H TT250-t60	3
AISI 8655H TT150-t90	4
AISI 8655H TT200-t90	4
AISI 8655H TT250-t90	4,5



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan kekerasan dan energi Impak

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa AISI 8655 H (sebelum *tempering*) memiliki nilai energi impak 2,8 Joule, spesimen uji AISI 8655H TT150-t60 dengan temperatur *tempering* 150 Celcius dan waktu *tempering* 60 menit memiliki energi impak 3 Joule, spesimen uji AISI 8655H TT200-t60 dengan temperatur *tempering* 200 Celcius dan waktu *tempering* 60 menit memiliki energi impak 3 Joule, spesimen uji AISI 8655H TT250-t60 dengan temperatur *tempering* 250 Celcius dan waktu *tempering* 60 menit memiliki energi impak 3 Joule, spesimen uji AISI 8655H TT150-t90 dengan temperatur *tempering* 150 Celcius dan waktu *tempering* 90 menit memiliki energi impak 4 Joule, spesimen uji AISI 8655H TT200-t90 dengan temperatur *tempering* 200 Celcius dan waktu *tempering* 90 menit memiliki energi impak 4 Joule, spesimen uji AISI 8655H TT250-t90 dengan temperatur *tempering* 250 Celcius dan waktu *tempering* 90 menit memiliki energi impak 4.5 Joule.

Dari grafik 4.6 dapat diketahui bahwa nilai energi impak spesimen cenderung meningkat setelah dilakukan *tempering*. Dari tabel 4.3 dapat dilihat spesimen uji AISI 8655H TT250-t90



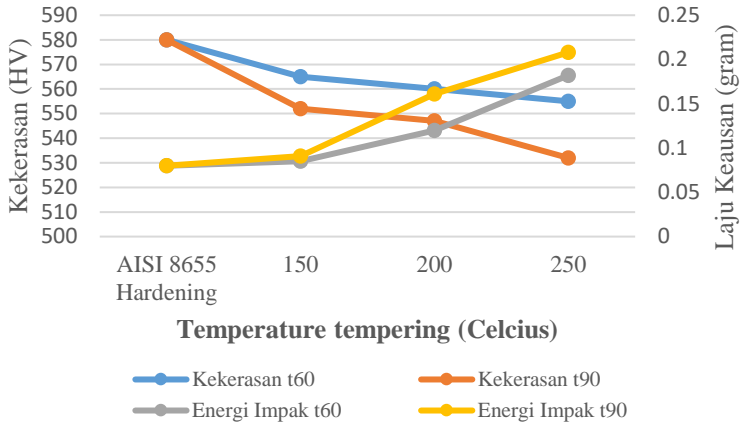
(temperatur *tempering* 250 Celcius dan waktu tahan *tempering* 90 menit) memiliki nilai energi impak yang paling tinggi dibanding *temperature tempering* spesimen uji lainnya, yaitu sebesar 4,5 Joule.

4.1.5 Hasil Pengujian Abrasif

Pengujian ketahanan aus dilakukan pada permukaan spesimen uji pada setiap variasi *temperature tempering* dan waktu tahan *tempering*. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah selisih massa spesimen sebelum dan sesudah dilakukan pengujian. Data hasil pengujian ketahanan aus ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Nilai Laju keausan

Kode Spesimen	Laju keausan (g)
AISI 8655 H	0,080
AISI 8655H TT150-t60	0,085
AISI 8655H TT200-t60	0,120
AISI 8655H TT250-t60	0,182
AISI 8655H TT150-t90	0,091
AISI 8655H TT200-t90	0,161
AISI 8655H TT250-t90	0,208



Gambar 4.7 Grafik perbandingan kekerasan dan laju keausan

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa AISI 8655 H (sebelum *tempering*) memiliki laju pengausan 0,080 g, spesimen uji AISI 8655H TT150-T60 dengan temperatur *tempering* 150 Celcius dan waktu *tempering* 60 menit memiliki laju pengausan 0,085 g, spesimen uji AISI 8655H TT200-t60 dengan temperatur *tempering* 200 Celcius dan waktu *tempering* 60 menit memiliki laju pengausan 0,120 g , spesimen uji AISI 8655H TT250-t60 dengan temperatur *tempering* 250 Celcius dan waktu *tempering* 60 menit memiliki laju pengausan 0,182 g, spesimen uji AISI 8655H TT150-t90 dengan temperatur *tempering* 150 Celcius dan waktu *tempering* 90 menit memiliki laju pengausan 0,091 g, spesimen uji AISI 8655H TT200-t90 dengan temperatur *tempering* 200 Celcius dan waktu *tempering* 90 menit memiliki laju pengausan 0,161 g, spesimen uji AISI 8655H TT250-t90 dengan temperatur *tempering* 250 Celcius dan waktu *tempering* 90 menit memiliki laju pengausan 0,208 g.



Dari grafik 4.7 dapat diketahui bahwa setelah dilakukan *tempering*, laju pengausan spesimen uji secara konstan terus meningkat. Pada grafik dapat dilihat bahwa spesimen uji 3 (temperatur *tempering* 250 Celcius) lebih tinggi dibanding spesimen uji 2 (temperatur *tempering* 200 Celcius) dan spesimen uji 2 lebih tinggi dibanding spesimen uji 1 (temperatur *tempering* 150 Celcius). Sementara itu, semakin lama waktu tahan *tempering* semakin tinggi pula laju pengausan. Spesimen uji t90 (waktu tahan *tempering* 90 menit) memiliki laju pengausan lebih tinggi dibanding spesimen uji t60 (waktu tahan *tempering* 60 menit).

4.2 PEMBAHASAN

Material hammer crusher seharusnya memiliki komposisi seperti *martensitic white cast iron* yang mempunyai sifat kekerasan dan energi impact yang baik sesuai dengan ASTM A532 class IIA, IIB dan IIIA. Komposisi *hammer crusher* ini sesuai dengan baja AISI 8655 yang memiliki kekerasan lebih rendah daripada *martensitic cast iron*. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan perlakuan *hardening* pada *hammer crusher* untuk meningkatkan sifat kekerasan dan energi impact yang memenuhi standard *Hammer crusher* ASTM A 532 . Ditemukan bahwa proses *hardening* dengan temperatur pemanasan 850 Celcius, waktu tahan 60 menit dan menggunakan media pendingin air seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.1 dengan kode spesimen AISI 8655 H memiliki nilai kekerasan dan energi impact spesimen yang telah memenuhi standard *hammer crusher* dan sifat mekanik *White cast Iron*. Setelah *hardening* dilakukan didapat nilai kekerasan sebesar 580 HV, nilai ini memenuhi standard *hammer crusher* A532 dimana nilai minimum kekerasan adalah 485 HV. Namun energi impact *hammer crusher* berada pada batas minimum standard *white cast iron* yaitu 2,8 Joule. Sehingga dibutuhkan perlakuan *tempering* untuk meningkatkan energi impact sehingga



meningkatkan kualitas *hammer crusher* dan mencegah terjadinya kegagalan.

Sebelum dilakukan *tempering*, terlebih dahulu dilakukan *hardening* pada temperatur 850 Celsius ditahan selama 60 menit dan didinginkan dengan media pendingin air. Struktur mikro yang ditemukan adalah *lath martensite* dan *acicular bainite*. Martensit terbentuk akibat pendinginan cepat mencapai temperatur *M_s* (martensite start). Karena pendinginan cepat maka karbon bebas yang terlarut dalam austenit tidak sempat berdifusi keluar kisi kristal sehingga tidak terjadi transformasi FCC menjadi BCC, melainkan terjadi transformasi geser pada kisi kristal menjadi bentuk struktur BCT. Struktur BCT ini menjadi sangat tegang dan getas. Penyebab kenaikan kekerasan lainnya adalah kromium dalam matriks akan bereaksi dengan karbon membentuk senyawa karbida. Sementara bainit terbentuk akibat temperatur menyentuh bawah hidung kurva. Pada temperatur ini *austenite* berada jauh dibawah temperatur stabilnya. Memiliki *driving force* yang besar sehingga memiliki energi yang cukup untuk berdifusi dan berubah dari FCC menjadi BCC, terbentuklah ferit. Ferit tidak mampu melarutkan karbon sehingga karbon berdifusi keluar dari ferit sebagai karbida. Sehingga akan diperoleh struktur jarum-jarum yang didalamnya terdapat platellet sementit. Hal ini menyebabkan AISI 8655 *hardened* menjadi sangat keras dan getas dengan kekerasan 580 HV dan energi impak 2,8 Joule.

Setelah dilakukan *hardening*, selanjutnya dilakukan *tempering* dengan variasi temperatur tempering dan waktu tahan tempering seperti dijelaskan pada paragraf diatas dan tabel 4.1. Pada proses *tempering* ditemukan struktur mikro *martensite tempered* dan *bainite tempered*. Saat *tempering*, *martensite* akan tereliminasi membentuk *martensite tempered* yaitu martensite dengan partikel-partikel karbida berbentuk *spheroid* yang lebih halus. Semakin tinggi temperatur tempering, maka akan semakin besar ukuran partikel karbida. Sementara *bainite* pada saat tempering akan menjadi *bainite tempered* setelah mengalami



relaksasi regangan. Kemudian pertumbuhan jumlah dan ukuran karbida.

Jika ditinjau nilai kekerasan material. *Tempering* secara konstan menurunkan nilai kekerasan material. Semakin tinggi temperatur tempering maka semakin rendah kekerasan. Hal ini terjadi karena tingginya *temperature tempering* menyebabkan karbida mampu mencapai ukuran yang lebih besar. Kemudian menyebabkan material menjadi lebih ulet dan terjadi penurunan kekerasan. Pada percobaan diperoleh nilai kekerasan paling rendah adalah pada perlakuan *temperature tempering* paling tinggi yaitu 250 Celcius dan nilai kekerasan tempering paling tinggi adalah pada temperatur tempering 150 Celcius. Demikian juga dengan semakin lama waktu tahan *tempering* semakin rendah juga kekerasan. Lama waktu tahan menyebabkan material memiliki waktu yang cukup untuk menghilangkan tegangan sisa. Menurunnya jumlah tegangan sisa membuat material menjadi semakin ulet dan menurunnya kekerasan. Selain itu lama waktu tempering menyebabkan karbida memiliki waktu untuk keluar dari ferit pada bainit. Karbida yang sudah keluar dengan seiring waktu akan semakin membesar. Sehingga menambah penurunan kekerasan. Kekerasan paling tinggi pada proses tempering diperoleh pada *temperature tempering* 150 Celcius selama 60 menit (Kode spesimen AISI 8655H TT150-T60) yaitu sebesar 565 HV. Seiring dengan peningkatan *temperature tempering* dan waktu tahan *tempering*, nilai kekerasan cenderung menurun. Paling rendah pada perlakuan tempering 250 Celcius, 90 menit (Kode spesimen AISI 8655H TT250-t90) sebesar 532 HV.

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap beban kejut atau beban yang diberikan secara tiba-tiba. Setelah *hardening* pada temperatur 850 Celcius, selama 60 menit dan didinginkan dengan air (Kode spesimen AISI 8655 H). Material memiliki energi impak sebesar 2,8 Joule. Berbanding terbalik dengan kekerasan, peningkatan *temperature tempering* dan waktu tahan *tempering* justru meningkatkan nilai energi impak. Semakin tinggi nilai kekerasan, maka akan semakin



rendah nilai energi impact. Pada *tempering* 150 Celcius selama 60 menit (AISI 8655H TT150-t60) diperoleh kekerasan maksimal yaitu 565 HV. Dan pada perlakuan tempering yang sama, diperoleh energi impact minimum *tempering* yaitu 3 Joule.

Ketahanan abrasif sangat erat kaitannya dengan kekerasan. Dengan meningkatnya kekerasan maka akan semakin sulit media abrasif untuk melakukan penetrasi dan mendegradasi spesimen uji. Sehingga ketahanan abrasif berbanding lurus dengan kekerasan. Semakin tinggi nilai kekerasan semakin tinggi pula ketahanan abrasif suatu material. Pada spesimen setelah *tempering* ditemukan spesimen uji AISI 8655H TT150-t60 dengan kekerasan paling tinggi yaitu 565 HV memiliki ketahanan abrasif paling tinggi atau laju pengausan paling rendah yaitu 0,085 g/hour. Kekerasan dan ketahanan aus berbanding lurus hingga spesimen uji AISI 8655H TT250-t90 dengan kekerasan terendah dengan nilai kekerasan 532 HV memiliki ketahanan abrasif paling rendah pula atau laju pengausan paling tinggi yaitu 0,208 g.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan:

- 1) Semakin tinggi *temperature tempering*, maka akan semakin rendah nilai kekerasan, semakin tinggi nilai impact dan semakin tinggi laju keausan. Temperatur kekerasan optimal adalah 150 Celcius dengan fasa *martensite tempered* dan *bainite*.
- 2) Semakin lama waktu tahan tempering, maka akan semakin rendah nilai kekerasan, semakin tinggi nilai impact dan semakin tinggi laju keausan. Waktu tahan tempering untuk mendapatkan kekerasan optimal adalah 60 menit dengan fasa *martensite tempered* dan *bainite*.

5.2 Saran

- 1) Pada saat melakukan pembelian komponen *hammer crusher* harus disertai dengan sertifikat komposisi kimia dan sifat mekanik yang sesuai dengan *standard hammer crusher* ASTM A 532
- 2) Melakukan heat treatment pada *hammer crusher* sesuai dengan sifat mekanik yang dibutuhkan



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA


- _____. 1999, ASTM E3-11. *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. USA: ASM International
- _____. 1999, ASTM G99. *Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*. USA: ASM International
2017. **FLSmidth Cross Bar Cooler**.
- Askeland, Donald. 2009. *Essential of Materials Science and Engineering*. USA: Cengage Learning.
- ASM Handbook. 1991. *ASM Handbook Volume 4 Heat Treatment*. USA: ASM International
- ASTM A532. 1999. *Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons*. USA: ASM International.
- Anwar, Khairil. 2011. *Analisis Perpindahan Panas pada Grate Cooler Industri Semen*. Palu: Majalah Ilmiah Mektek
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction To Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Callister, William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering*. New York: ASM International.
- Chandler, Harry. 1995. *Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels*. USA: ASM International.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Edahwati, Luluk. 2009. *Alat Industri Kimia*. Surabaya: UPN Press
- Firdaus, Habibi. 2010. *Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Grinding Ball Impor Diameter 40 mm yang Digunakan di PT. Indocement Tunggal Prakarsa, TBK*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- FLSmidth. 2016. about us : FLSmidth. Februari 10.
http://www.flsmidth.com/~media/Brochures/Brochures%20for%20raw%20grinding%20and%20silos/ATOX_Raw_Mill.ashx.
- Hokkirigawa, K. And Kato, K. 1989. *Theoretical Estimation of Abrasive Wear Resistance Based on Microscopic Wear Mechanism*. New York: Wear of Materials
- Nugroho, Adhityo Sarwo. 2014. *Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Thermite Baja NP-42*. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Rhamadan, Yudha Prakarsa. 2017. *Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses Hardening pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan Hammer Crusher*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ratia, Vilma. 2015. *Behavior of Martensitic Wear Resistance Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions*. Finland : Tampere University of Technology.
- Rohrig, K. 1996. *Ni-Hard Material Data and Applications*. Canada: Nickel Development Institute.
- Stachowiak, G.W. 2005. *Wear Materials, Mechanisms and Practice*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Trihutomo. 2015. *Analisa Kekerasan pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening Dengan Media Pendingin Yang Berbeda*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Warmick, Seco. 2011. *Heat Treating Data Book Tenth Edition*. USA: SECO/Warmick Corporation.

- Winataputra, Didin S. 1998. *Perubahan Mikrostruktur Baja 12% Cr Selama Creep*. Jakarta: BATAN.
- Xu, Zhi-bao. 2017. *Mechanical Properties of a Microalloyed Bainitic Steel After Hot Forging and Tempering*. Beijing: Beijing Jiaotong University.
- Zum Gahr, K.H. 1987. *Microstructure and Wear of Materials*. Amsterdam: Tribology Series.

LAMPIRAN

A. Technical Data Hammer Crusher

 TECHNICAL DATA OF HAMMER CRUSHER			
COUNTRY :		INDONESIA	DATE : 12.04.2016
CUSTOMER			
Company:	SEMEN INDONESIA (Persero)	Works:	
Contact Person:	www.scribd.com/doc/100000000/pt-hansa-pratama	Annual Capacity:	3,000,000 T
CRUSHER			
Manufacturer	PT.HANSA PRATAMA		Serial No.:
Type:	<input checked="" type="checkbox"/> Monorotor	<input type="checkbox"/> Birotor	
Crushing stage:	<input type="checkbox"/> Primary	<input type="checkbox"/> Secondary	<input checked="" type="checkbox"/> Clinker
			<input type="checkbox"/> Other
Year of construction:	2015		
Quantity of hammers per set	63		
External rotor diameter:	D= 1,000.0	m	
Rotation speed	N= 370	rpm	
Linear speed: $(\pi \times D \times N) / 60 =$	19,360.0	m/s	
Are the hammers free to turn around their shaft (360°) :	<input checked="" type="checkbox"/> Yes		
	<input type="checkbox"/> No		
Height of material fall:	H=	m	
Nb of hammer rings per rotor:	12		
Nb of hammers per ring:	6		
MATERIAL TO BE CRUSHED			
<input type="checkbox"/> Limestone	<input type="checkbox"/> Shale	<input type="checkbox"/> Clay	<input type="checkbox"/> Lime
<input type="checkbox"/> Lignite	<input type="checkbox"/> Coal	<input type="checkbox"/> Other	
<input checked="" type="checkbox"/> Clinker	> average temperature of clinker at outlet of cooler 400 °C		
Red river on the cooler	<input type="checkbox"/> Never	<input checked="" type="checkbox"/> Sometimes	Frequency
Maximum size at inlet (mm):	Max. at outlet (mm)	100	Output/hour 354 t/hr
Running time of the crusher:	24	hr/day	Days/week 7
Crushed material composition:	% combined silica:	% free silica:	
Metal pieces coming inside the crusher:	<input type="checkbox"/> Never	<input checked="" type="checkbox"/> Sometimes	Frequency
HAMMER			
Unit weight at the new set: kg	Present alloy (t)	Hardness:	
Lifetime :	hr 14,400	Lifetime (month) 24	Lifetime (crushed tonnage/set) :
	Gross wear (gr/T):		
Turning of hammers:	<input type="checkbox"/> yes	Hardfacing of hammers:	<input checked="" type="checkbox"/> yes
	<input type="checkbox"/> no		<input type="checkbox"/> no
Current supplier:	PT.HANSA PRATAMA		Unit price :
Machining of the boring:	<input type="checkbox"/> yes	<input type="checkbox"/> no	
Machining of the flanges:	<input type="checkbox"/> yes	<input type="checkbox"/> no	
Particular problems encountered and comments:			
- clogging up with sticky material <input checked="" type="checkbox"/>			
- irregular wear according to the position on the rotor :			
No <input type="checkbox"/>		if yes: <input checked="" type="checkbox"/> Quick wear on the center	
- breakage on the hammer shaft			
- breakage on the hammer head <input checked="" type="checkbox"/>			
- oval shape of hammer hole <input checked="" type="checkbox"/>			
- others <input checked="" type="checkbox"/> hammer disc width decrease (wear indication)			
- Handling system of the hammer (to be specified):			

B. Analisis OES (*Optical Emission Spectroscopy*) Komposisi Kimia



Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI BARISTAND INDUSTRI SURABAYA

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480
<http://baristandsurabaya.kemenperin.go.id/>

Nomor Analisa : P 5576 s/d P 5578
Jenis Sampel : Besi Tuang
Kode : A, B, C

No	Parameter Uji Komposisi Kimia Logam	Satuan	Hasil Uji			Metoda uji
			P 5576 (A)	P 5577 (B)	P 5578 (C)	
1	Si	%	0,37379	2,4849	0,61983	JIS G 1253 : 2002 Cara uji komposisi kimia
2	Mn	%	0,77582	0,93132	2,0322	
3	P	%	0,01888	0,06462	0,05978	
4	S	%	0,00606	0,02336	0,01116	
5	Cu	%	0,03701	0,56583	0,15006	
6	Ni	%	0,39966	3,5939	7,6548	
7	Cr	%	1,9148	16,344	13,387	
8	Mo	%	0,22922	0,33403	0,22436	
9	Al	%	0,05568	0,10638	0,01166	
10	Carbon	%	0,59650	1,1742	0,02916	

Catatan :

- Sampel diuji sesuai permintaan.
- Sampel diuji dengan alat Optical Emission Spectrometer



Surabaya, 03 Oktober 2016
Laboratorium Fisika

Fany Adhama
NIP. 197601102002121005

C. Standar AISI 8655

MATERIAL TECHNICAL DATA SHEET - AISI/SAE 8655

MATERIAL CATEGORY: SAE, AISI, UNS system alloy structural steel

MATERIAL SPECIFICATIONS: SAE J1249 -2000

OFFICIAL TEST CERTIFICATE: issued by TUV - SGS - BV

CHEMICAL COMPOSITION (WEIGHT %)

C (%): 0.51~0.59

Si (%): 0.15~0.35

Mn (%): 0.75~1.00

P (%): ≤ 0.035

S (%): ≤ 0.040

Cr (%): 0.40~0.60

Ni (%): 0.40~0.70

Mo (%): 0.15~0.25

MECHANICAL PROPERTIES AND HOT WORKING

Mechanical property $\geq \sigma_b$ /MPa: -

Mechanical property $\geq \sigma_s$ /MPa: -

Mechanical property $\geq \delta_5$ (%): -

Mechanical property $\geq \psi$ (%): -

Hardness /annealed COND: 187 ~ 248

Hot working temperature /°C: 1100~850

Quantity	Value	Unit
Young's modulus	200000 - 200000	MPa
Tensile strength	650 - 880	MPa
Elongation	8 - 25	%
Fatigue	275 - 275	MPa
Yield strength	350 - 550	MPa

Physical Properties

Quantity	Value	Unit
Thermal expansion	10 - 10	e-6/K
Thermal conductivity	25 - 25	W/m.K
Specific heat	460 - 460	J/kg.K
Melting temperature	1450 - 1510	°C
Density	7700 - 7700	kg/m ³
Resistivity	0.55 - 0.55	Ohm.mm ² /m

Heat Treatment:

Annealing	Quenching	Tempering	Normalizing	Q & T
√	√	√	√	√

D. Standar ASTM A532 (Komposisi dan Kekerasan)

TABLE 1 Chemical Requirements, Weight %

Class	Type	Designation	Carbon	Manganese	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum	Copper	Phosphorus	Sulfur
I	A	Ni-Cr-Hc	2.8-3.6	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	B	Ni-Cr-Lc	2.4-3.0	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	C	Ni-Cr-GB	2.5-3.7	2.0 max	0.8 max	4.0 max	1.0-2.5	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	D	Ni-HCr	2.5-3.6	2.0 max	2.0 max	4.5-7.0	7.0-11.0	1.5 max	...	0.10 max	0.15 max
II	A	12 % Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	11.0-14.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	B	15 % Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	14.0-18.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	D	20 % Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.0-2.2	2.5 max	18.0-23.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
III	A	25 % Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	23.0-30.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max

TABLE 2 Hardness Requirements

Hardness Value-HB																		
Class	Type	Designation	As Cast or As Cast and Stress Relieved			Sand Cast, min ^A			Hardened or Hardened and Stress Relieved			Chill Cast, min ^B			Typical Section Thickness			
Level 1												Level 2						
			HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	
I	A	Ni-Cr-HC	550	53	600	600	56	660	650	59	715	600	56	660	...	...	...
I	B	Ni-Cr-LcC	550	53	600	600	56	660	650	59	715	600	56	660	...	...	...
I	C	Ni-Cr-GB	550	53	600	600	56	660	650	59	715	600	56	660	400	41	430	
I	D	Ni-HCr	500	50	540	600	56	660	650	59	715	550	53	600	...	...	...
II	A	12 % Cr	550	53	600	600	56	660	650	59	715	550	53	600	400	41	430	
II	B	15 % Cr-Mo	450	46	485	600	56	660	650	59	715	...	...	...	400	41	430
II	D	20 % Cr-Mo	450	46	485	600	56	660	650	59	715	...	...	...	400	41	430
III	A	25 % Cr	450	46	485	600	56	660	650	59	715	...	...	...	400	41	430

(This page left intentionally blank)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, maka dari itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu menolong, menemani, menuntun dan menyertai. Yang senantiasa hadir dalam kesesakan maupun dalam kemenangan. Terimakasih karena tidak pernah menyerah untuk kehidupan saya.
2. Kedua orang tua, Bapak, Mamak, serta saudari-saudari yang selalu mendukung saya dalam banyak hal.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
4. Ir. Rochman Roechim M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing saya dari awal dan membantu serta memberikan penulis banyak ilmu dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing penulis dengan sabar dalam pengerjaan Tugas Akhir maupun dalam kepribadian.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Rindang Fajarin, S.Si., M.Si dan Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc selaku dosen wali selama menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Teman dari maba (TOIDI SQUAD) Rifki, Eja, Afiq, Ical, Rama, Ibe, Dwiki, Noer, Pijul, Pandu, Icod, Emral, Adnan, Argya yang telah menemani masa-masa perkuliahan selama kurang lebih 4 tahun.

10. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir, Eja, Jourdy, Ninur, dan Este yang telah membantu dan mengingatkan penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
11. Teman-teman yang lulus 3.5 tahun, Pandu, Argya, Redy, Sasa, dan Rifki yang telah berbaik hati menjawab pertanyaan seputar Laporan Tugas Akhir penulis.
12. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, telah memberikan penulis banyak sekali kenangan. Keluarga penulis selama masa perkuliahan.
13. Serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

BIODATA PENULIS



Sipartogi Silalah, atau yang lebih akrab disapa Ogi lahir di Sumut pada tanggal 25 Juni 1997. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 01 Sumbul. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 1 Sumbul. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 1 Sidikalang. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Selama penulis menempuh perkuliahan, penulis juga tercatat aktif di berbagai acara departemen maupun institusi. Penulis pernah menjadi panitia di acara yg diadakan di berbagai kegiatan di ITS seperti ITS Futsal Championship, Metalgear HMMT-FTI ITS dan lain-lain. Selain itu, penulis juga pernah menjabat sebagai kepala divisi Futsal putra ITS. Dibidang olahraga, penulis juga pernah menjadi MVP ITS Futsal Championship.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. TIMAH pada bulan Juni-Juli 2017 dan memiliki topik selama kerja praktek dengan judul “pengaruh cristalizer terhadap unsur pengotor”.

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu pada bidang Korosi dan Analisis Kegagalan dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi Temperatur tempering dan Waktu Tahan *Tempering* pada Proses *Tempering Hammer Crusher* yang telah mengalami hardening terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Material *Hammer Crusher*.”